注册建筑师考试丛书

一级注册建筑师考试教材

第二分册　建　筑　结　构

（第十三版）

《注册建筑师考试教材》编委会　编
曹纬浚　主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目（CIP）数据

一级注册建筑师考试教材. 第二分册，建筑结构/《注册建筑师考试教材》编委会编；曹纬浚主编. —13版. —北京：中国建筑工业出版社，2017.11

（注册建筑师考试丛书）

ISBN 978-7-112-21380-1

Ⅰ.①一… Ⅱ.①注…②曹… Ⅲ.①建筑设计-资格考试-自学参考资料 Ⅳ.①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 252785 号

责任编辑：张 建
责任校对：王 瑞 王雪竹

注册建筑师考试丛书

一级注册建筑师考试教材

第二分册 建筑结构

（第十三版）

《注册建筑师考试教材》编委会 编

曹纬浚 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路 9 号）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：31¾ 字数：771 千字

2017 年 11 月第十三版 2017 年 11 月第二十五次印刷

定价：**82.00** 元

ISBN 978-7-112-21380-1

（31045）

《注册建筑师考试教材》

编　委　会

序

赵春山

（住房和城乡建设部执业资格注册中心原主任
兼全国勘察设计注册工程师管理委员会副主任
中国建筑学会常务理事）

我国正在实行注册建筑师执业资格制度，从接受系统建筑教育到成为执业建筑师之前，首先要得到社会的认可，这种社会的认可在当前表现为取得注册建筑师执业注册证书，而建筑师在未来怎样行使执业权力，怎样在社会上进行再塑造和被再评价从而建立良好的社会资源，则是另一个角度对建筑师的要求。因此在如何培养一名合格的注册建筑师的问题上有许多需要思考的地方。

一、正确理解注册建筑师的准入标准

我们实行注册建筑师制度始终坚持教育标准、职业实践标准、考试标准并举，三者之间相辅相成、缺一不可。所谓教育标准就是大学专业建筑教育。建筑教育是培养专业建筑师必备的前提。一个建筑师首先必须经过大学的建筑学专业教育，这是基础。职业实践标准是指经过学校专门教育后又经过一段有特定要求的职业实践训练积累。只有这两个前提条件具备后才可报名参加考试。考试实际就是对大学建筑教育的结果和职业实践经验积累结果的综合测试。注册建筑师的产生都要经过建筑教育、实践、综合考试三个过程，而不能用其中任何一个去代替另外两个过程，专业教育是建筑师的基础，实践则是在步入社会以后通过经验积累提高自身能力的必经之路。从本质上说，注册建筑师考试只是一个评价手段，真正要成为一名合格的注册建筑师还必须在教育培养和实践训练上下功夫。

二、关注建筑专业教育对职业建筑师的影响

应当看到，我国的建筑教育与现在的人才培养、市场需求尚有脱节的地方，比如在人才知识结构与能力方面的实践性和技术性还有欠缺。目前在建筑教育领域实行了专业教育评估制度，一个很重要的目的是想以评估作为指挥棒，指挥或者引导现在的教育向市场靠拢，围绕着市场需求培养人才。专业教育评估在国际上已成为了一种通行的做法，是一种通过社会或市场评价教育并引导教育围绕市场需求培养合格人才的良好机制。

当然，大学教育本身与社会的具体应用需要之间有所区别，大学教育更侧重于专业理论基础的培养，所以我们就从衡量注册建筑师第二个标准——实践标准上来解决这个问题。注册建筑师考试前要强调专业教育和三年以上的职业实践。现在专门为报考注册建筑师提供一个职业实践手册，包括设计实践、施工配合、项目管理、学术交流四个方面共十项具体实践内容，并要求申请考试人员在一名注册建筑师指导下完成。

理论和实践是相辅相成的关系，大学的建筑教育是基础理论与专业理论教育，但必须要给学生一定的时间使其把理论知识应用到实践中去，把所学和实践结合起来，提高自身的业务能力和专业水平。

大学专业教育是作为专门人才的必备条件，在国外也是如此。发达国家对一个建筑师的要求是：没有经过专门的建筑学教育是不能称之为建筑师的，而且不能进入该领域从事与其相关的职业。企业招聘人才也首先要看他们是否具备扎实的基本知识和专业本领，所以大学的本科建筑教育是必备条件。

三、注意发挥在职教育对注册建筑师培养的补充作用

在职教育在我国有两个含义：一种是后补充学历教育，即本不具备专业学历，但工作后经过在职教育通过社会自学考试，取得从事现职业岗位要求的相应学历；还有一种是继续教育，即原来学的本专业和其他专业学历，随着科技发展和自身业务领域的拓宽，原有的知识结构已不适应了，于是通过在职教育去补充相关知识。由于我国建筑教育在过去一段时期底子薄，培养数量与社会需求差距很大。改革开放以后为了满足快速发展的建筑市场需求，一批没有经过规范的建筑教育的人员进入了建筑师队伍。而要解决好这一历史问题，提高建筑师队伍整体职业素质，在职教育有着重要的补充作用。

继续教育是在职教育的一种行之有效的教育形式，它特指具有专业学历背景的在职人员从业后，因社会的发展使得原有知识需要更新，要通过参加新知识、新技术的学习以调整原有知识结构、拓宽知识范围。它在性质上与在职培训相同，但又不能完全画等号。继续教育是有计划性、目标性、提高性的，从整体人才队伍和个人知识总体结构上作调整和补充。当前，社会在职教育在制度上和措施上还不够完善，质量很难保证。有一些人把在职读学历作为“镀金”，把继续教育当作“过关”。虽然最后证明拿到了，但实际的本领和水平并没有相应提高。为此需要我们做两方面的工作，一是要让我们的建筑师充分认识到在职教育是我们执业发展的第一需求；二是我们的教育培训机构要完善制度、改进措施、提高质量，使参加培训的人员有所收获。

四、为建筑师创造一个良好的职业环境

要向社会提供高水平、高质量的设计产品，关键还是要靠注册建筑师的自身素质，但也不可忽视社会环境的影响。大众审美的提高可以让建筑师感受到社会的关注，增强自省意识，努力创造出一个经受得住大众评价的作品。但目前实际上建筑师的很多设计思想受开发商与业主方面很大的影响，有时建筑水平并不完全取决于建筑师，而是取决于开发商与业主的喜好。有的业主审美水平不高，很多想法往往只是自己的意愿，这就很难做出与社会文化、科技、时代融合的建筑产品。要改善这种状态，首先要努力创造尊重知识、尊重人才的社会环境。建筑师要维护自己的职业权力，大众要尊重建筑师的创作成果，业主不要把个人喜好强加于建筑师。同时建筑师自身也要提高自己的素质和修养，增强社会责任感，建立良好的社会信誉。要让创造出的作品得到大众的尊重，首先自己要尊重自己的劳动成果。

五、认清差距，提高自身能力，迎接挑战

目前中国的建筑师与国际水平还存在着一定差距，而面对信息化时代，如何缩小差距以适应时代变革和技术进步，及时调整并制定新的对策，成为建筑教育需要探讨解决的问题。

我们现在的建筑教育不同程度地存在重艺术、轻技术的倾向。在注册建筑师资格考试中明显感觉到建筑师们在相关的技术知识包括结构、设备、材料方面的把握上有所欠缺，这与教育有一定的关系。学校往往比较注重表现能力方面的培养，而技术方面的教育则相对不足。尽管这些年有的学校进行了一些课程调整，加强了技术方面的教育，但从整体来看，现在的建筑师在知识结构上还是存在缺欠。

建筑是时代发展的历史见证，它凝固了一个时期科技、文化发展的印记，建筑师如果不能与时代发展相适应，努力学习和掌握当代社会发展的科学技术与人文知识，提高建筑的科技、文化内涵，就很难创造出高水平的作品。

当前，我们的建筑教育可以利用互联网加强与国外信息的交流，了解和掌握国外在建筑方面的新思路、新理念、新技术。这里想强调的是，我们的建筑教育还是应该注重与社会发展相适应。当今，社会进步速度很快，建筑所蕴含的深厚文化底蕴也在不断地丰富、发展。现代建筑创作不能单一强调传统文化，要充分运用现代科技发展成果，使建筑在经济、安全、健康、适用和美观方面得到全面体现。在人才培养上也要与时俱进。加强建筑师科技能力的培养，让他们学会适应和运用新技术、新材料去进行建筑创作。

一个好的建筑要实现它的内在和外表的统一，必须要做到：建筑的表现、材料的选用、结构的布置以及设备的安装融为一体。但这些在很多建筑中还做不到，这说明我们一些建筑师在对新结构、新设备、新材料的掌握和运用上能力不够，还需要加大学习的力度。只有充分掌握新的结构技术、设备技术和新材料的性能，建筑师才能够更好地发挥创造水平，把技术与艺术很好地融合起来。

中国加入 WTO 以后面临国外建筑师的大量进入，这对中国建筑设计市场将会有很大的冲击，我们不能期望通过政府设立各种约束限制国外建筑师的进入而自保，关键是要使国内建筑师自身具备与国外建筑师竞争的能力，充分迎接挑战、参与竞争，通过实践提高我们的设计水平，为社会提供更好的建筑作品。

前　　言

原**建设部**和**人事部**自1995年起开始实施注册建筑师执业资格考试制度。

为了帮助建筑师们准备考试，本书的编写教师自1995年起就先后参加了北京市一、二级注册建筑师考试辅导班的教学工作。他们都是本专业具有较深造诣的高级工程师和教授，分别来自北京市建筑设计研究院、北京建筑大学、北京工业大学、北方工业大学、北京交通大学和清华大学建筑设计研究院。作者以考试大纲和现行规范、标准为依据，在辅导班讲课教案的基础上，经多年教学实践的检验修改，于2001年为全国考生编写了《注册建筑师考试丛书》。本套书包括：《一级注册建筑师考试教材》（共6个分册）、《二级注册建筑师考试教材》（共3个分册）和《一级注册建筑师考试历年真题与解析》（共5个分册）（以下分别简称《一级教材》、《二级教材》和《历年真题与解析》）。本套书的编写目的是指导复习，因此力求简明扼要、联系实际，着重对规范的讲解和对基本原理、重点概念的解析。

全国注册建筑师管理委员会规定：每年考试所使用的规范、规程，以本考试年度上一年12月31日前正式实施的规范、规程为准。每年我们均根据规范、规程的修订、更新和当年考题的实际情况修订《一级教材》。2017年年底前开始实施，与注册建筑师考试有关的新规范、新标准主要有：《剧场建筑设计规范》、《宿舍建筑设计规范》、《老年人居住建筑设计规范》、《民用建筑热工设计规范》和《建筑工程施工质量评价标准》等（详见本书附录2）。2017年《一级教材》和《历年真题与解析》均按照这些新修订的规范、标准进行了全面修订，力求满足考试要求。

本套《一级教材》共有6个分册。《第一分册 设计前期 场地与建筑设计（知识）》，对应考试科目为“设计前期与场地设计”和“建筑设计”；《第二分册 建筑结构》，对应考试科目为“建筑结构”；《第三分册 建筑物理与建筑设备》，对应考试科目为“建筑物理与建筑设备”；《第四分册 建筑材料与构造》，对应考试科目为“建筑材料与构造”；《第五分册 建筑经济施工与设计业务管理》，对应考试科目为“建筑经济、施工与设计业务管理”；《第六分册 建筑方案 技术与场地设计（作图）》，对应考试科目为“建筑方案设计”、“建筑技术设计”和“场地设计”（第一至五分册对应的是知识题，第六分册对应的是作图题）。

参加《一级教材》编写的老师如下：第一、第二章耿长孚、王昕禾；第三、第七及第二十八章张思浩；第四章何力；第五章姜中光、王又佳；第六章荣玥芳；第八章钱民刚；第九章黄莉、王昕禾；第十至第十四章林焕枢；第十五、第十六章黄莉；第十七章汪琪美；第十八章刘博；第十九章李英；第二十章吕鉴；第二十一章及第二十九章设备部分贾昭凯；第二十二章及第二十九章电气部分冯玲；第二十三章侯云芬；第二十四章陈岚；第二十五章陈向东；第二十六章穆静波；第二十七章李魁元；第二十九章建筑及结构部分樊振和；第三十章耿长孚。

多年来曾参与或协助本套书编写、修订的老师有：陈璐、王其明、翁如璧、任朝钧、曾俊、李德富、朋改非、杨金铎、周慧珍、刘宝生、张英、陶维华、许萍、郝昱、赵欣然、霍新民、何玉章、颜志敏、曹一兰、周庄、管清坤、张文革、张岩、周迎旭、曹京、杨洪波、李智民、耿京、李铁柱、仲晓雯、冯存强、阮广青、刘若禹、任东勇、钱程、阮文依、王金羽、康义荣、孙琳、杨守俊、王志刚、何承奎、吴扬、张翠兰、孙玮、黄丽华、赵思儒、吴越恺、高璐、韩雪、陈启佳、曹欣、郭虹、楼香林、李广秋、李平、邓华、冯嘉骝、翟平、曹铎、高焱、张迪、杨婧一、薛勇。

考生在学习《一级教材》时，除应阅读相应的标准、规范外，还应多做试题，以便巩固知识，加深理解和记忆。《历年真题与解析》是《一级教材》的配套试题集，收录了2003年以来知识题的历年真实试题并附详细的解答提示和参考答案。其5个分册，分别对应于《一级教材》的第一至五分册。《历年真题与解析》的每个分册均包含两个部分，即按照《一级教材》章节设置的分散试题和近几年的整套试题。考生可以在考前做几次自测练习。

《一级教材》的第六分册收录了一级注册建筑师资格考试的“建筑方案设计”、“建筑技术设计”和“场地设计”三个作图考试科目的历年真实试题，并提供了参考答卷，部分试题还附有评分标准，对作图科目考试的复习大有好处。

预祝各位考生在考试中取得好成绩！

《注册建筑师考试教材》编委会
2017年9月

一级注册建筑师考试教材

总 目 录

第一分册 设计前期 场地与建筑设计（知识）

第一章 设计前期工作
第二章 场地设计知识
第三章 建筑设计原理
第四章 中国古代建筑史
第五章 外国建筑史
第六章 城市规划基础知识
第七章 建筑设计标准、规范

第二分册 建 筑 结 构

第八章 建筑力学
第九章 建筑结构与结构选型
第十章 建筑结构上的作用及设计方法
第十一章 钢筋混凝土结构设计
第十二章 钢结构设计
第十三章 砌体结构设计
第十四章 木结构设计
第十五章 建筑抗震设计基本知识
第十六章 地基与基础

第三分册 建筑物理与建筑设备

第十七章 建筑热工与节能
第十八章 建筑光学
第十九章 建筑声学
第二十章 建筑给水排水
第二十一章 暖通空调

第二十二章　建筑电气

第四分册　建筑材料与构造

第二十三章　建筑材料
第二十四章　建筑构造

第五分册　建筑经济 施工与设计业务管理

第二十五章　建筑经济
第二十六章　建筑施工
第二十七章　设计业务管理

第六分册　建筑方案 技术与场地设计（作图）（含作图试题）

第二十八章　建筑方案设计（作图）
第二十九章　建筑技术设计（作图）
第三十章　场地设计（作图）

第二分册　建　筑　结　构

目　　录

序 …………………………………………………………………………………… 赵春山
前言
第八章　建筑力学……………………………………………………………………… 1
　第一节　静力学基本知识和基本方法……………………………………………… 1
　第二节　静定梁的受力分析、剪力图与弯矩图 ………………………………… 16
　第三节　静定结构的受力分析、剪力图与弯矩图 ……………………………… 22
　第四节　图乘法求位移 ……………………………………………………………… 30
　第五节　超静定结构 ………………………………………………………………… 33
　第六节　压杆稳定 …………………………………………………………………… 46
　习题 ………………………………………………………………………………… 47
　参考答案 …………………………………………………………………………… 74
第九章　建筑结构与结构选型 ……………………………………………………… 75
　第一节　概述 ………………………………………………………………………… 75
　第二节　多层与高层建筑结构体系 ………………………………………………… 82
　第三节　单层厂房的结构体系 ……………………………………………………… 98
　第四节　木屋盖的结构形式与布置………………………………………………… 112
　第五节　大跨度空间结构…………………………………………………………… 118
　习题………………………………………………………………………………… 135
　参考答案…………………………………………………………………………… 138
第十章　建筑结构上的作用及设计方法…………………………………………… 140
　第一节　建筑结构上的作用………………………………………………………… 140
　第二节　建筑结构的设计方法……………………………………………………… 156
　习题………………………………………………………………………………… 161
　参考答案…………………………………………………………………………… 163
第十一章　钢筋混凝土结构设计…………………………………………………… 164
　第一节　概述………………………………………………………………………… 164
　第二节　承载能力极限状态计算…………………………………………………… 173
　第三节　正常使用极限状态验算…………………………………………………… 195
　第四节　构造规定…………………………………………………………………… 202
　第五节　结构构件的基本规定……………………………………………………… 209
　第六节　预应力混凝土构件………………………………………………………… 218

第七节　现浇钢筋混凝土楼盖…………………………………………………… 224
习题…………………………………………………………………………………… 231
参考答案……………………………………………………………………………… 241
第十二章　钢结构设计……………………………………………………………… 242
第一节　钢结构的特点和应用范围…………………………………………… 242
第二节　钢结构的材料………………………………………………………… 243
第三节　钢结构的计算方法与基本构件设计………………………………… 248
第四节　钢结构的连接………………………………………………………… 259
第五节　构件的连接构造……………………………………………………… 269
第六节　钢屋盖结构…………………………………………………………… 272
第七节　钢管混凝土结构……………………………………………………… 274
习题…………………………………………………………………………………… 275
参考答案……………………………………………………………………………… 279
第十三章　砌体结构设计…………………………………………………………… 280
第一节　砌体材料及其力学性能……………………………………………… 280
第二节　砌体房屋的静力计算………………………………………………… 285
第三节　无筋砌体构件承载力计算…………………………………………… 292
第四节　构造要求……………………………………………………………… 296
第五节　圈梁、过梁、墙梁和挑梁…………………………………………… 302
习题…………………………………………………………………………………… 309
参考答案……………………………………………………………………………… 312
第十四章　木结构设计……………………………………………………………… 313
第一节　木结构用木材………………………………………………………… 313
第二节　木结构构件的计算…………………………………………………… 316
第三节　木结构的连接………………………………………………………… 320
第四节　木结构防火和防护…………………………………………………… 322
第五节　其他…………………………………………………………………… 325
习题…………………………………………………………………………………… 327
参考答案……………………………………………………………………………… 329
第十五章　建筑抗震设计基本知识………………………………………………… 330
第一节　概述…………………………………………………………………… 330
第二节　建筑结构抗震设计…………………………………………………… 353
习题…………………………………………………………………………………… 423
参考答案……………………………………………………………………………… 427
第十六章　地基与基础……………………………………………………………… 430
第一节　概述…………………………………………………………………… 430
第二节　地基土的基本知识…………………………………………………… 430
第三节　地基与基础设计……………………………………………………… 433
第四节　地基岩土的分类及工程特性指标…………………………………… 434

第五节　地基计算……………………………………………………………… 438
第六节　山区地基……………………………………………………………… 444
第七节　软弱地基……………………………………………………………… 452
第八节　基础…………………………………………………………………… 456
习题………………………………………………………………………………… 471
参考答案…………………………………………………………………………… 473
附录 1　全国一级注册建筑师资格考试大纲 ………………………………… 475
附录 2　全国一级注册建筑师资格考试规范、标准及主要参考书目 ……… 478
附录 3　2017 年度全国一、二级注册建筑师资格考试考生注意事项……… 487
附录 4　解读《2017 年考生注意事项》 ………………………………… 郭保宁　489
附录 5　对知识单选题考试备考和应试的建议 ……………………………… 493

第八章　建　筑　力　学

建筑力学包括静力学、材料力学、结构力学三部分内容。

第一节　静力学基本知识和基本方法

静力学研究物体在力作用下的平衡规律，主要包括物体的受力分析、力系的等效简化、力系的平衡条件及其应用。

一、静力学基本知识

（一）静力学的基本概念

1. 力的概念

力是物体间相互的机械作用，这种作用将使物体的运动状态发生变化——运动效应，或使物体的形状发生变化——变形效应。力的量纲为牛顿（N）。力的作用效果取决于力的三要素：力的大小、方向、作用点。力是矢量，满足矢量的运算法则。当求共点二力之合力时，采用力的平行四边形法则：其合力可由两个共点力为边构成的平行四边形的对角线确定，见图 8-1(*a*)。或者说，合力矢等于此二力的几何和，即

$$F_R = F_1 + F_2 \tag{8-1}$$

显然，求 F_R 时，只需画出平行四边形的一半就够了，即以力矢 F_1 的尾端 B 作为力矢 F_2 的起点，连接 AC 所得矢量即为合力 F_R。如图 8-1(*b*) 所示三角形 ABC 称为力三角形。这种求合力的方法称为力的三角形法则。

力的三角形法则可以很容易地扩展成力的多边形法则。设一平面汇交力系 F_1，F_2，F_3，F_4，各力作用线汇交于点 A，如图 8-2 (*a*) 所示。

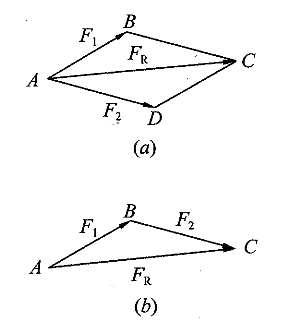
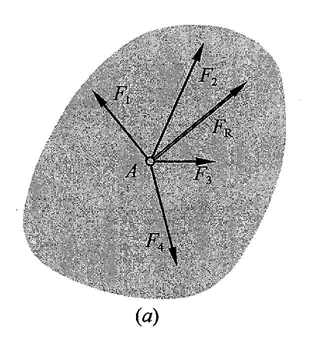


图 8-1　力的平行四边形法则



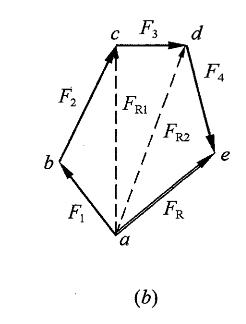


图 8-2　力的多边形法则

（*a*）平面汇交力系；（*b*）力的多边形

为合成此力系，可根据力的平行四边形法则，逐步两两合成各力，最后求得一个通过汇交点 A 的合力 F_R；还可以用更简便的方法求此合力 F_R 的大小与方向。任取一点 a，将

各分力的矢量依次首尾相连，由此组成一个不封闭的**力多边形** $abcde$，如图 8-2（b）所示。此图中的虚线$\overrightarrow{ac}$矢（F_{R1}）为力 F_1 与 F_2 的合力矢，又虚线$\overrightarrow{ad}$矢（F_{R2}）为力 F_{R1} 与 F_3 的合力矢，在作力多边形时不必画出。

例 8-1 （2005 年） 平面汇交力系（F_1、F_2、F_3、F_4、F_5）的力多边形如图 8-3 所示，该力系的合力等于(　　)。

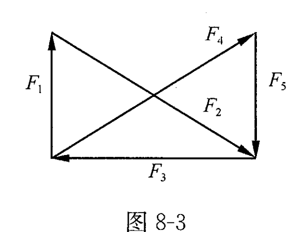


图 8-3

A　F_3　　　B　$-F_3$　　　C　F_2　　　D　F_5

提示： 根据力的多边形法则可知，F_1、F_2 和 F_3 首尾顺序连接而成的力矢三角形自行封闭，封闭边为零，故 F_1、F_2 和 F_3 的合力为零。剩余的二力 F_4 和 F_5 首尾顺序连接，其合力应是从 F_4 的起点指向 F_5 的终点，即 $-F_3$ 的方向。

答案： B

2. 刚体的概念

在物体受力以后的变形对其运动和平衡的影响小到可以忽略不计的情况下，便可把物体抽象成为不变形的力学模型——刚体。

3. 力系的概念

同时作用在刚体上的一群力，称为力系。

4. 平衡的概念

平衡是指物体相对惯性参考系静止或作匀速直线平行移动的状态。

（二）静力学的基本原理

1. 二力平衡原理

不计自重的刚体在二力作用下平衡的必要和充分条件是：二力沿着同一作用线，大小相等，方向相反。仅受两个力作用且处于平衡状态的物体，称为二力体，又称二力构件、二力杆，见图 8-4。

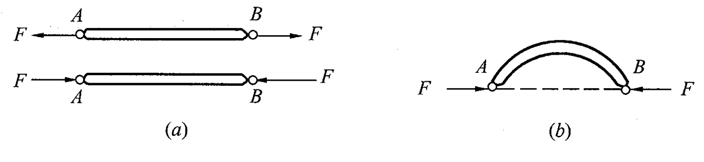


图 8-4　二力平衡必共线

2. 加减平衡力系原理

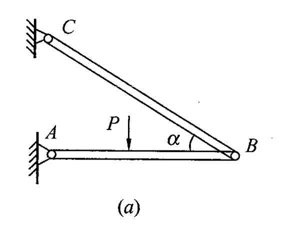
在作用于刚体的力系中，加上或减去任意一个平衡力系，不改变原力系对刚体的作用效应。

推论Ⅰ：力的可传性。 作用于刚体上的力可沿其作用线滑移至刚体内任意点而不改变力对刚体的作用效应；因此，对刚体而言，力的三要素实际上是大小、方向和作用线。

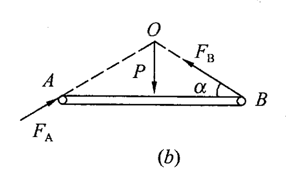
推论Ⅱ：三力平衡汇交定理。 作用于刚体上三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点，如图 8-5 所示。

（三）约束与约束力（约束反力）

阻碍物体运动的限制条件称为约束，约束对被约束物体的机械作用称为约束力（或约



(a)



(b)

图 8-5　三力平衡必汇交

束反力)。**约束反力的方向永远与主动力的运动趋势相反。**

工程中常见的几种类型约束的性质以及相应约束力的确定方法见表 8-1。

几种典型约束的性质及相应约束力的确定方法　　**表 8-1**

约束的类型	约束的性质	约束力的确定
柔体约束（如绳索、胶带、链条等）	柔体约束只能限制物体沿着柔体的中心线伸长方向的运动，而不能限制物体沿其他方向的运动	约束力必定沿柔体的中心线，且背离被约束的物体
光滑接触约束	光滑接触约束只能限制物体沿接触面的公法线指向支承面的运动，而不能限制物体沿接触面或离开支承面的运动	光滑接触面的约束力通过接触点，沿接触面的公法线并指向被约束的物体
可动铰支座（辊轴支座）	可动铰支座不能限制物体绕销钉的转动和沿支承面的运动，而只能限制物体在支承面垂直方向的运动	可动铰支座的约束反力通过销钉中心且垂直于支承面，指向待定
链杆约束	链杆约束只能限制物体沿连杆中心线方向的运动，而其他方向的运动都不能限制	链杆约束的约束反力沿着链杆中心线，指向待定

续表

约束的类型	约束的性质	约束力的确定
固定铰链支座 圆柱铰链（中间铰）	铰链约束只能限制物体在垂直于销钉轴线的平面内任意方向的运动，而不能限制物体绕销钉的转动	约束反力作用在垂直于销钉轴线的平面内，通过销钉中心，而方向待定
定向支座	定向支座只能限制物体沿支座链杆方向的运动和物体绕支座的转动，而不能限制物体沿支承面的运动	约束力可表示为一个垂直于支承面的力和一个约束力偶，指向与主动力相反
固定端约束	固定端约束既能限制物体移动，又能限制物体绕固定端转动	约束反力可表示为两个互相垂直的分力和一个约束力偶，指向均待定

【口诀】 1，2，3。

即：第 1 类约束，有 1 个约束力；第 2 类约束，有 2 个约束力；第 3 类约束，有 3 个约束力（约束力偶可当作广义力）。

图 8-6 和图 8-7 中给出了可动铰支座和链杆、圆柱铰链（中间铰）与固定铰链支座的实例、简图、分解图和约束力的图示。

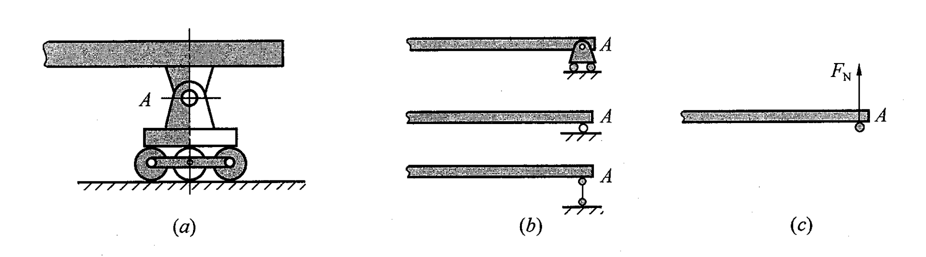


图 8-6　可动铰支座和链杆

（a）辊轴实例；（b）简图；（c）约束力

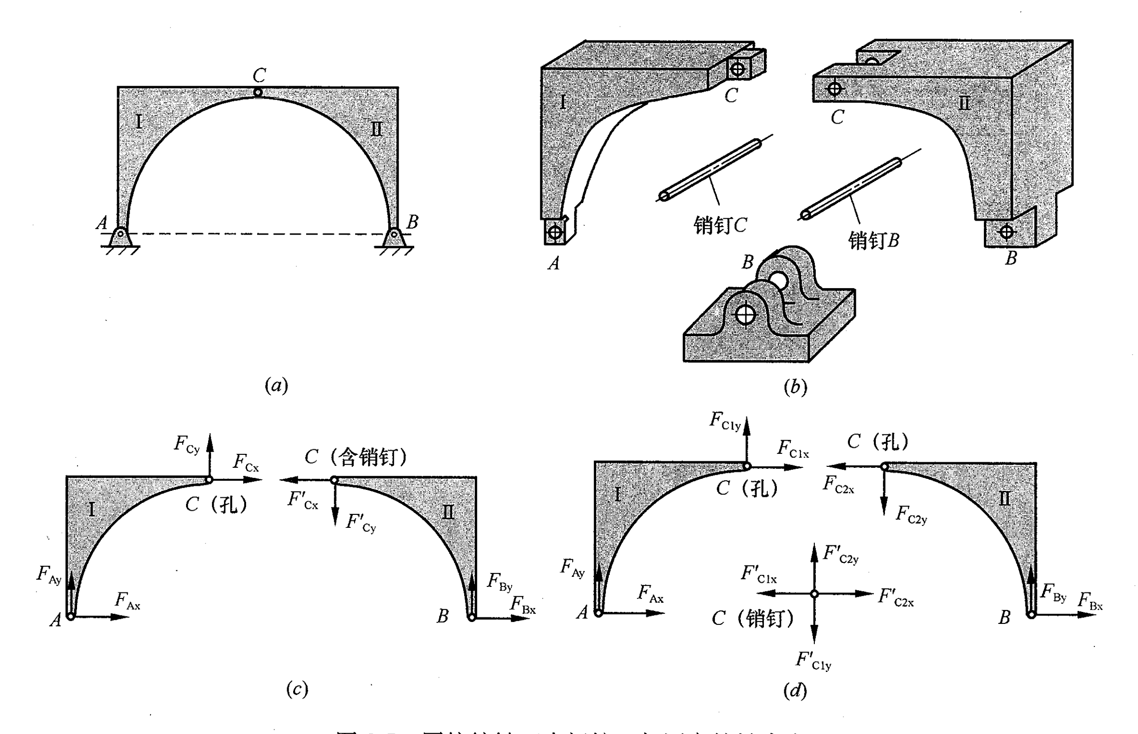
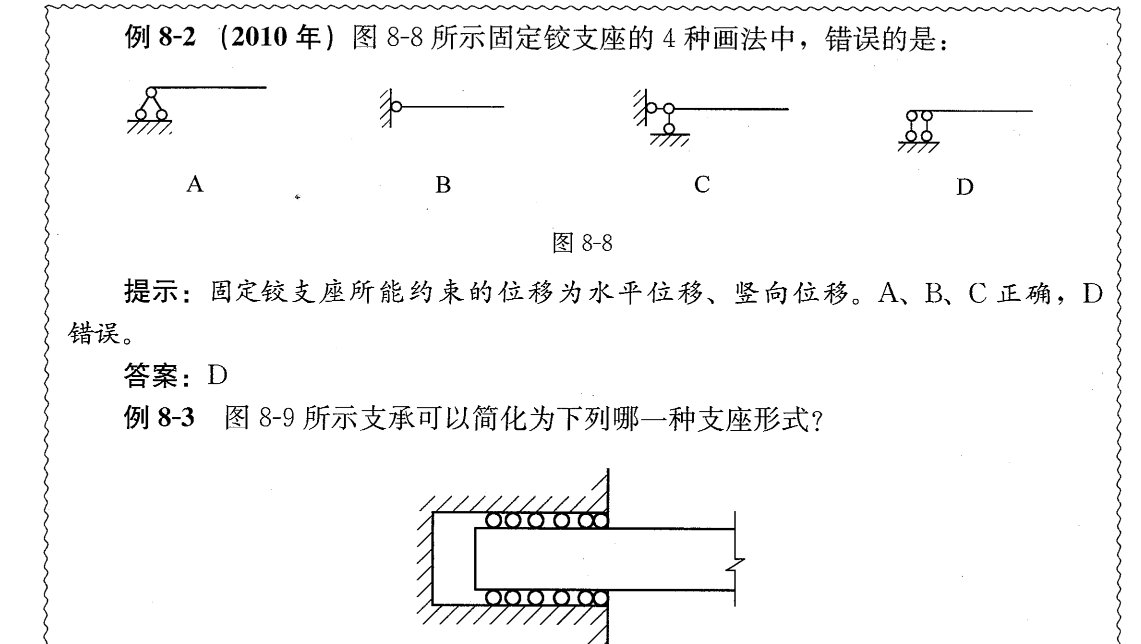


图 8-7 圆柱铰链（中间铰）与固定铰链支座

（*a*）拱形桥；（*b*）中间铰链 *C* 和固定铰链 *B* 分解图；（*c*）约束力（不单独分析销钉 *C*）；（*d*）约束力（单独分析销钉 *C*）



例 8-2 （2010 年） 图 8-8 所示固定铰支座的 4 种画法中，错误的是：

A　B　C　D

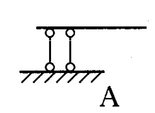
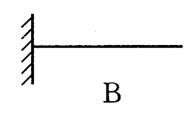
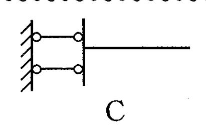
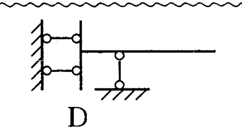
图 8-8

提示： 固定铰支座所能约束的位移为水平位移、竖向位移。A、B、C 正确，D 错误。

答案： D

例 8-3 图 8-9 所示支承可以简化为下列哪一种支座形式？

图 8-9

A　　B　　C　　D

提示： 支承所能约束的位移为转动和竖向位移。

答案： A

例 8-4　（2009 年） 图 8-10 所示结构固定支座 A 处竖向反力为：

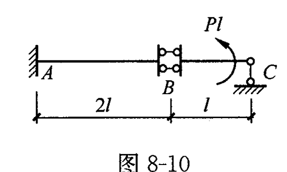


图 8-10

A　P　　B　$2P$　　C　0　　D　$0.5P$

提示： B 处的定向支座只能传递水平力和力偶，不能传递竖向力。

答案： C

（四）力在坐标轴上的投影

过力矢 F 的两端 A、B，向坐标轴作垂线，在坐标轴上得到垂足 a、b，线段 ab，再冠之以正负号，便称为力 F 在坐标轴上的投影。如图 8-11 中所示的 X、Y 即为力 F 分别在 x 与 y 轴上的投影，其值为力 F 的模乘以力与投影轴正向间夹角的余弦，即：

$$X = |F| \cos\alpha$$
$$Y = |F| \cos\beta = |F| \sin\alpha \qquad (8\text{-}2)$$

图 8-11

若力与任一坐标轴 x 平行，即 $\alpha=0°$ 或 $\alpha=180°$ 时：

$$X = |F| \text{ 或 } X = -|F|$$

若力与任一坐标轴 x 垂直，即 $\alpha=90°$ 时：

$$X=0$$

合力投影定理。平面汇交力系的合力在某坐标轴上的投影等于其各分力在同一坐标轴上的投影的代数和。

$$F_x = \Sigma X_i \quad F_y = \Sigma Y_i \qquad (8\text{-}3)$$

例 8-5 （2004 年） 平面力系 P_1、P_2 汇交在 O 点，其合力的水平分力和垂直分力分别为 P_x、P_y，如图 8-12 所示。试判断以下 P_x、P_y 值哪项正确？

A　$P_x=3\sqrt{3}$，$P_y=1$

B　$P_x=3$，$P_y=3\sqrt{3}$

C　$P_x=3$，$P_y=-\sqrt{3}$

D　$P_x=3\sqrt{3}$，$P_y=3$

提示： $P_x=P_1\sin30°+P_2\sin30°=3$

$P_y=-P_1\cos30°+P_2\cos30°=-\sqrt{3}$

答案： C

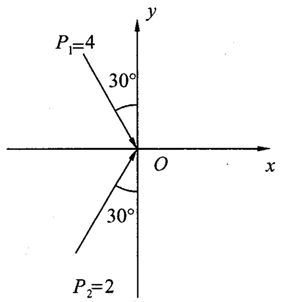


图 8-12

例 8-6 （2004 年） 如图 8-13 所示平面平衡力系中，P_2 的正确数值是多少（与图8-13中方向相同为正值，反之为负值）？

A　$P_2=-2$　　B　$P_2=-4$

C　$P_2=2$　　D　$P_2=4$

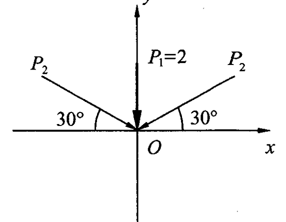


图 8-13

提示： 因为 $\Sigma F_y=-P_1-2P_2\sin30°=0$　所以 $P_2=-P_1=-2$

答案： A

思考： 画出此三力平衡的力的三角形。

（五）力矩及其性质

1. 力对点之矩

力使物体绕某支点（或矩心）转动的效果可用力对点之矩度量。设力 F 作用于刚体上的 A 点，如图 8-14 所示，用 r 表示空间任意点 O 到 A 点的矢径，于是，力 F 对 O 点的力矩定义为矢径 r 与力矢 $\boldsymbol{F}$ 的矢量积，记为 $M_O(F)$。即

$$M_O(F)=r\times F \tag{8-4}$$

式（8-4）中点 O 称作力矩中心，简称矩心。力 F 使刚体绕 O 点转动效果的强弱取决于：①力矩的大小；②力矩的转向；③力和矢径所组成平面的方位。因此，力矩是一个矢量，矢量的模即力矩的大小为

$$|M_O(F)|=|r\times F|=rF\sin\theta=Fd \tag{8-5}$$

矢量的方向与 OAB 平面的法线 n 一致，按右手螺旋法则确定。力矩的单位为N・m或kN・m。

在平面问题中，如图 8-15 所示，力对点之矩为代数量，表示为：

$$M_O(F)=\pm Fd \tag{8-6}$$

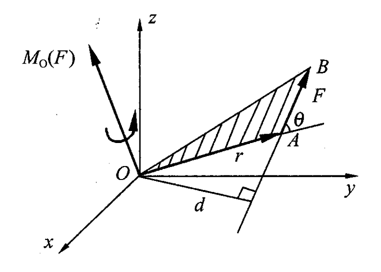



图 8-14　力对点之矩

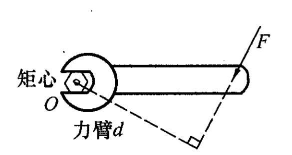


图 8-15

式中 d 为力到矩心 O 的垂直距离，称为力臂。习惯上，力使物体绕矩心逆时针转动时，式（8-6）取正号，反之取负号。

2. 力矩的性质

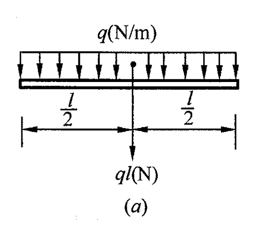
（1）力对点之矩，不仅取决于力的大小，同时还取决于矩心的位置，故不明确矩心位置的力矩是无意义的。

（2）力的数值为零，或力的作用线通过矩心时，力矩为零。

（3）合力矩定理：合力对一点之矩等于各分力对同一点之矩的代数和，即：

$$M_O(R)=M_O(F_1)+M_O(F_2)+\cdots+M_O(F_n)=\Sigma M_O(F) \tag{8-7}$$

由合力矩定理，可以得到分布力的合力大小和合力作用线的位置，如图 8-16 所示。



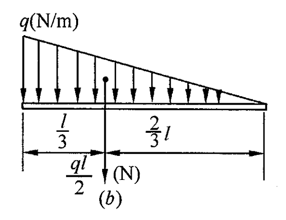


图 8-16

（a）均布荷载的合力；（b）三角形线性分布荷载的合力

由图 8-16 可见，分布荷载的合力大小等于分布荷载的面积，而分布荷载的合力作用线则通过分布荷载面积的形心。

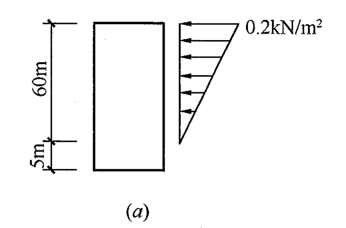
例 8-7（2011 年） 建筑立面如图 8-17（a）所示，在图示荷载作用下的基底倾覆力矩为：

A　270kN·m（逆时针）

B　270kN·m（顺时针）

C　210kN·m（逆时针）

D　210kN·m（顺时针）



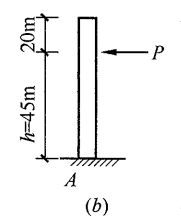


图 8-17

提示： 考虑到此建筑立面纵深厚度为 1m，可以把图 8-17（a）中的面荷载视为线荷载（0.2kN/m）。这样其合力 P 等于三角形的面积$\frac{1}{2}\times60\times0.2=6\text{kN}$，合力 P 的作用线位于三角形的形心处，距顶点为$\frac{1}{3}\times60=20\text{m}$，如图 8-17（b）所示。对基底的倾覆力矩 $M_A(P)=Ph=6\times45=270\text{kN}\cdot\text{m}$，为逆时针方向。

答案： A

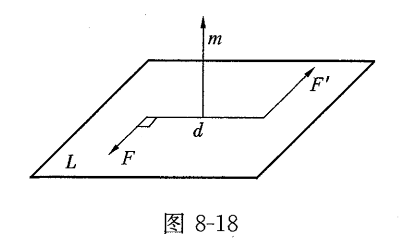


图 8-18

（六）力偶、力偶矩

1. 力偶

大小相等、方向相反、作用线平行但不重合的两个力组成的力系，称为力偶。用符号（F，F'）表示，如图 8-18 所示。图中的 L 平面为力偶作用平面，d 为两力之间的距离，称为力偶臂。

2. 力偶的性质

（1）力偶无合力，即不能简化为一个力，或者说不能与一个力等效。故力偶对刚体只产生转动效应而不产生移动效应。

(2) 力偶对刚体的转动效应用力偶矩度量。

在空间问题中，力偶矩为矢量，其方向由右手定则确定，如图 8-18 所示。

在平面问题中，力偶矩为代数量，表示为：

$$m = \pm Fd \tag{8-8}$$

通常取逆时针转向的力偶矩为正，反之为负。

(3) 作用在刚体上的两个力偶，其等效的充分必要条件是此二力偶的力偶矩矢相等。由此性质可得到如下推论：

推论Ⅰ 只要力偶矩矢保持不变，力偶可在其作用面内任意移动和转动，亦可在其平行平面内移动，而不改变其对刚体的作用效果。因此力偶矩矢为自由矢量。

推论Ⅱ 只要力偶矩矢保持不变，力偶中的两个力及力偶臂均可改变，而不改变其对刚体的作用效果。

由力偶的上述性质可知，力偶对刚体的作用效果取决于力偶的三要素，即力偶矩的大小、力偶作用平面的方位及力偶在其作用面内的转向。

图 8-19(a)、(b)表示的为同一个力偶，其力偶矩为 $m=Fd$。

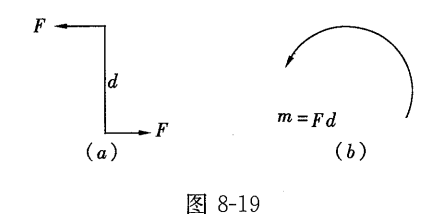


图 8-19

在平面力系中，力偶对平面内任一点的力偶矩都相同，与点的位置无关。

(七) 力的平移定理

显然，力可沿作用线移动，而不改变其对刚体的作用效果，现在要来研究如何将力的作用线进行平移。

如图 8-20 所示，在 B 点加一对与力 F 等值、平行的平衡力，并使 $F=F'=-F''$，其中 F 与F''构成一力偶，称为附加力偶，其力偶矩 $m=Fd=m_{\mathrm{B}}(F)$。这样，作用于 A 点的力 F 与作用于 B 点的力 F'和一个力偶矩为 m 的附加力偶等效。由此得出结论：作用于刚体上的力 F 可平移至体内任一指定点，但同时必须附加一力偶，其力偶矩等于原力 F 对于新作用点 B 之矩。这就是力的平移定理。

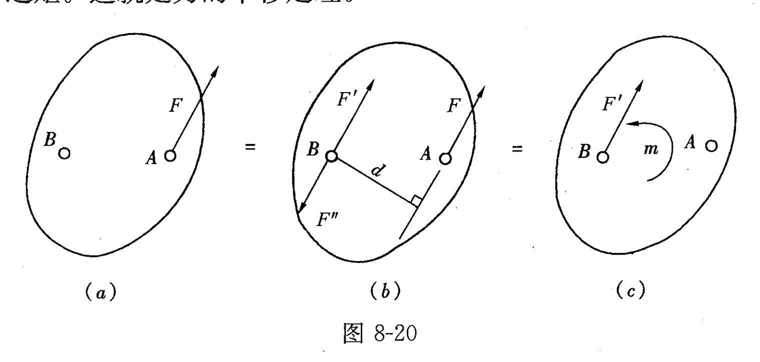


图 8-20

力的平移定理在力系的简化和工程计算中有广泛的应用。

图 8-21 所示为工业厂房中常见的牛腿柱。偏心压力 P 可以平行移动到牛腿柱的轴线上，成为一个轴向压力 P 和一个力偶 $m=Pe$，牛腿柱的计算可简化为轴向压缩和弯曲的组合变形。

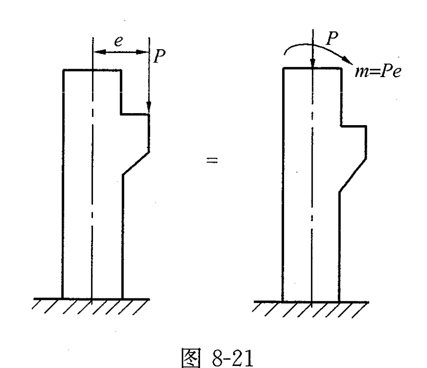


图 8-21

利用力的平移定理可以把任意力系简化为一个主矢 F'_R 和一个主矩 M_O 的简化结果。

二、静力学基本方法

【口诀】 取，画，列。

（一）选取适当的研究对象。可以选取整体，也可以选取某一部分。选取的原则是能够通过已知力求得未知力。

（二）画出研究对象的受力图。一般先画已知的主动力，后画未知的约束反力。约束反力的方向永远与主动力的运动趋势相反。只画研究对象的外力，不画其内力。作用力与反作用力大小相等、方向相反，作用在一条直线上，作用在两个物体上。

（三）列出平衡方程求未知力。

根据平衡条件 $F'_R=0$，$M_O=0$，可得平面任意力系和平面特殊力系的几种不同形式的平衡方程（表 8-2）。

平面力系的平衡方程 **表 8-2**

力(偶)系	平面任意力系	平面汇交力系	平面平行力系（取 y 轴与各力作用线平行）	平面力偶系
平衡条件	主矢、主矩同时为零 $F'_R=0$，$M_O=0$	合力为零 $F_R=0$	主矢、主矩同时为零 $F'_R=0$ $M_O=0$	合力偶矩为零 $M=0$
基本形式平衡方程	$\sum F_x=0$ $\sum F_y=0$ $\sum m_O(F)=0$	$\sum F_x=0$ $\sum F_y=0$	$\sum F_y=0$ $\sum m_O(F)=0$	$\sum m=0$
二力矩形式平衡方程	$\sum F_x=0$(或$\sum F_y=0$) $\sum m_A(F)=0$ $\sum m_B(F)=0$ A、B 两点连线不垂直于 x 轴(或 y 轴)	$\sum m_A(F)=0$ $\sum m_B(F)=0$ A、B 两点与力系的汇交点不在同一直线上	$\sum m_A(F)=0$ $\sum m_B(F)=0$ A、B 两点连线不与各力平行	无
三力矩形式平衡方程	$\sum m_A(F)=0$ $\sum m_B(F)=0$ $\sum m_C(F)=0$ A、B、C 三点不在同一直线上	无	无	无

【注意】 重点掌握平面力系基本形式平衡方程的本质，就是要使物体保持静止不动：

$\sum F_x=0$：水平方向合力为零，向左力＝向右力；

$\sum F_y=0$：铅垂方向合力为零，向上力＝向下力；

$\sum M_O(F)=0$：对任选点 O 合力矩为零，顺时针力矩＝逆时针力矩。

掌握了这个本质，就可以融会贯通，灵活运用。

例 8-8 （**2009**）如图 8-22 所示外伸梁，其支座 A、B 处的反力分别为下列何值？

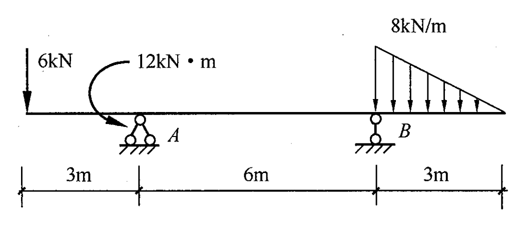


图 8-22

A 12kN、6kN　　B 9kN、9kN

C 6kN、12kN　　D 3kN、15kN

提示：注意到三角形分布荷载的合力为 $\frac{3\times8}{2}=12\text{kN}$，合力作用线到 B 的距离为 1m，用平衡方程 $\sum M_B=0$，可得：

$$F_A\times6+12\times1=12+6\times9 \quad \therefore F_A=9\text{kN}$$

再用平衡方程 $\sum Y_y=0$，可得：

$$F_A+F_B=6+12 \qquad \therefore \quad F_B=9\text{kN}$$

答案：B

例 8-9 两圆管重量分别为 12kN 和 4kN，放在支架 ABC 上图 8-23(a) 所示位置。试判断 BC 杆内力为何值？

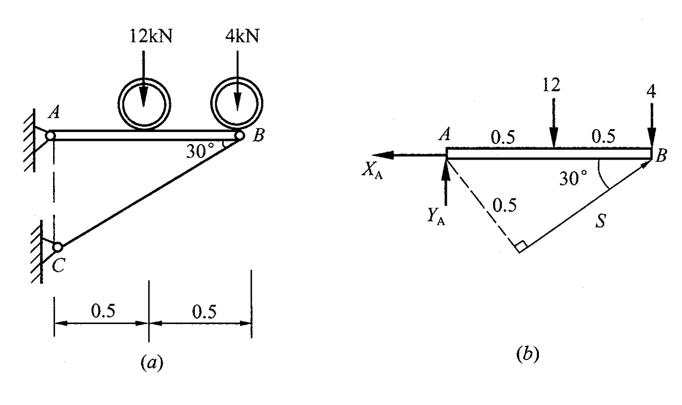


图 8-23

A $20\sqrt{3}$kN　　B 10kN

C $10\sqrt{3}$kN　　D 20kN

提示：取 AB 为研究对象，画 AB 杆受力图如图 8-23(b)所示，对支点 A 取力矩。

$$\sum M_A=0：S\times0.5=12\times0.5+4\times1$$

$$S=20\text{kN}$$

答案：D

【注意】 在应用力矩方程时，选未知力的交点(往往是支点)为矩心，计算是最简单、最方便的。静力学创始人阿基米德的名言："给我一个支点，我可以撬起地球"。他讲的就是杠杆原理，也就是力矩方程，这是静力学的精华所在。

节点法解简单桁架，如图 8-24(a)所示。

桁架特点：

(1) 荷载作用于节点（铰链）处。

(2) 各杆自重不计，是二力杆（受拉或受压）。

节点法：以节点为研究对象，由已知力依次求出各未知力。

【注意】 所选节点，其未知力不能超过两个。

在画节点的受力图和杆的受力图中，既要考虑节点的平衡，又要考虑杆的平衡。在桁架中，杆和节点之间的作用力和反作用力，如果一个是拉力，另一个也是拉力；如果一个是压力，另一个也是压力。

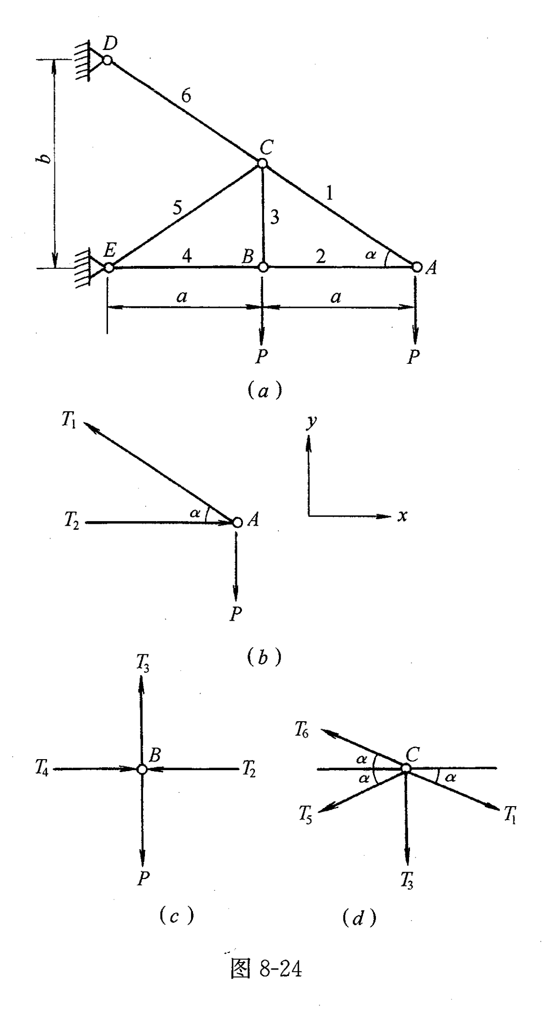


图 8-24

见图 8-24(b)。

节点 A：

$$\begin{cases}\Sigma X=0: T_2-T_1\cos\alpha=0\\ \Sigma Y=0: T_1\sin\alpha-P=0\end{cases}$$

求出：

$$T_1=\frac{P}{\sin\alpha},\ T_2=P\cot\alpha$$

见图 8-24(c)。

节点 B：

$$\begin{cases}T_4=T_2=P\cot\alpha\\ T_3=P\end{cases}$$

见图 8-24(d)。

节点 C：

$$\begin{cases}T_1\cos\alpha=T_5\cos\alpha+T_6\cos\alpha\\ T_6\sin\alpha=T_5\sin\alpha+T_1\sin\alpha+T_3\end{cases}$$

求出：$T_6=\dfrac{3P}{2\sin\alpha}$，$T_5=-\dfrac{P}{2\sin\alpha}$（与所设方向相反）

截面法求指定杆所受的力：不需逐一求所有的杆。

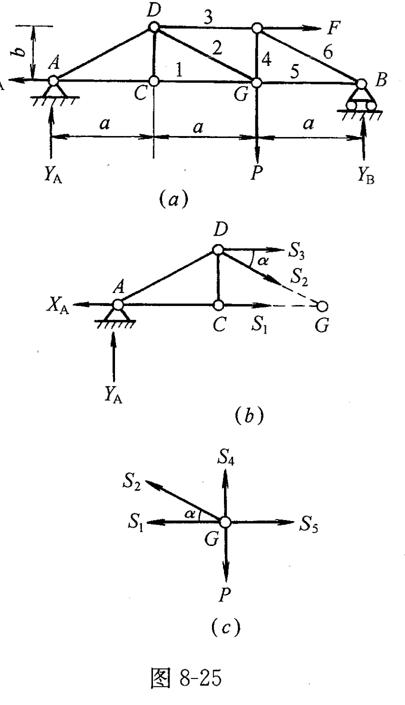


图 8-25

已知：$P=1200\text{N}$，$F=400\text{N}$，$a=4\text{m}$，$b=3\text{m}$。求 1、2、3、4 杆所受的力。

(1) 取整体平衡，求支反力，如图 8-25(a)所示。

$\sum m_A=0$：

$$-P\cdot 2a-F\cdot b+Y_B\cdot 3a=0$$

$$Y_B=\frac{2Pa+Fb}{3a}=900\text{N}$$

$\sum X=0$：

$$X_A=F=400\text{N}$$

$\sum Y=0$：

$$Y_A+Y_B-P=0$$

$$Y_A=P-Y_B=300\text{N}$$

(2) 假想一适当截面，把桁架截开成两部分，选取一部分作为研究对象，如图 8-25(b)所示，求 S_1，S_2，S_3。

$$\sum m_D=0:\quad S_1b-X_A\cdot b-Y_A\cdot a=0$$

$$S_1=\frac{X_A\cdot b+Y_A\cdot a}{b}=800\text{N}\ (\text{拉力})$$

$$\sum Y=0:\quad Y_A-S_2\cdot\sin\alpha=0$$

$$S_2=\frac{Y_A}{\sin\alpha}=500\text{N}\ (\text{拉力})\ \left(\sin\alpha=\frac{3}{5}\right)$$

$$\sum m_G=0:\quad -S_3\cdot b-Y_A\cdot 2a=0$$

$$S_3=-\frac{2aY_A}{b}=-800\text{N}\ (\text{压力})$$

(3) 最后再用节点法求 S_4：取节点 G，如图 8-25(c)所示。

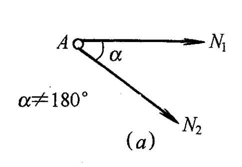
$$\sum Y=0:S_4+S_2\sin\alpha-P=0$$

$$S_4=P-S_2\sin\alpha=900\text{N}\ (\text{拉力})$$

三、特殊杆件的内力

1. 零杆

在桁架的计算中，有时会遇到某些杆件内力为零的情况。这些内力为零的杆件称为零杆。出现零杆的情况可归结如下：



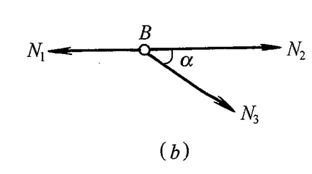


图 8-26

(1) 两杆节点 A[图 8-26(a)]

两杆节点 A 上无荷载作用时，该两杆的内力都等于零，$N_1=N_2=0$。

(2) 三杆节点 B[图 8-26(b)]

三杆节点 B 上无荷载作用时，如果其中有两杆在一直线上，则另一杆必为零杆，$N_3=0$。

上述结论都不难由节点平衡条件得以证实，在分析桁架时，可先利用它们判断出零杆，以简化计算。

以⊕代表受拉杆，⊖代表受压杆，○代表零杆，则下图所示桁架在图示荷载作用下的内力符号如图 8-27 所示。

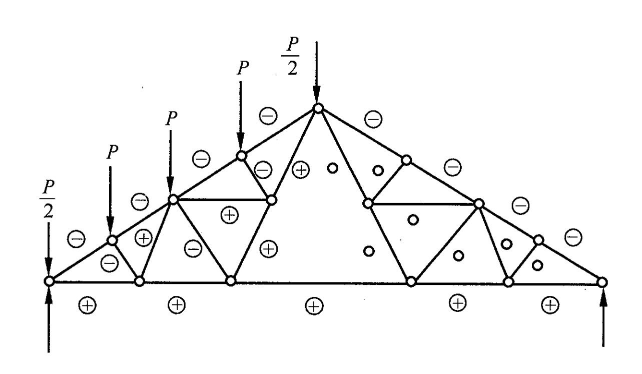


图 8-27

2. 等力杆

(1) “X” 形节点 C [图 8-28(a)]

在 [图 8-28(a)] 中，四杆中两两共线，则必有 $N_1=N_2$，$N_3=N_4$。

(2) “人” 形节点 D [图 8-28(b)]

在图 8-28(b) 中，当 N_3 在 N_1 和 N_2 的角平分线上时，则有 $N_1=N_2$，$N_3=2N_1\cos\alpha$。

(3) 三杆节点 E [图 8-28(c)]

图 8-28(c) 所示三杆节点，N_3 与 N_1 和 N_2 的角平分线垂直，N_1 与 N_2 属于反对称受力，则有 $N_1=-N_2$，$N_3=2N_1\sin\alpha$。

(4) “K” 形节点 F [图 8-28(d)]

如图 8-28(d) 所示，N_1 和 N_2 属于反对称反力，故 $N_1=-N_2$；N_3 与 N_4 共线，故 $N_3=N_4$。

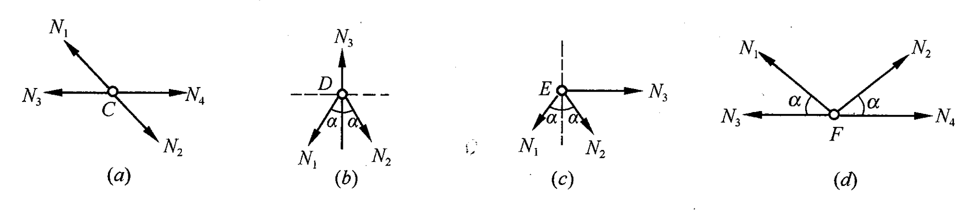


图 8-28

例 8-10（2010 年）图 8-29 所示桁架在竖向外力 P 作用下的零杆根数为：

A 1根　　　　B 3根

C 5根　　　　D 7根

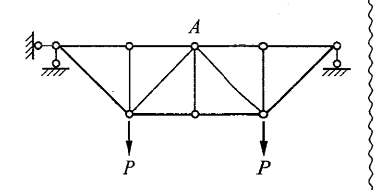


图 8-29

提示：图示结构为对称结构受对称荷载作用，在对称轴上反对称内力应该为零。由零杆判别法可知，三根竖杆为零杆。三根竖杆去掉后，A 点成为 K 字形节点，属于反对称的受力特点，故通过 A 点的两根斜杆内力也是零：

答案：C

例 8-11　图 8-30 所示 4 个桁架结构中，哪个结构中的斜腹杆是零杆？

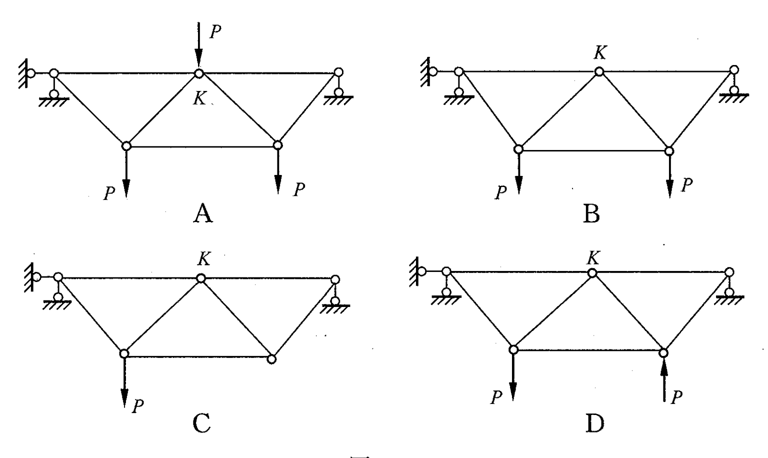


图 8-30

提示：在分析图 8-31 中，A 图中节点 K 上有外力，C 图中荷载不对称，D 图中荷载反对称，都不符合 K 字形节点两根斜杆为零的条件，注意 D 图的下弦水平杆为零杆。只有 B 图符合结构对称、荷载对称，K 字形节点上无外力，而且 K 字形节点在对称轴上的条件。这时 K 字形节点上的反对称力为零，两根斜杆是零杆。

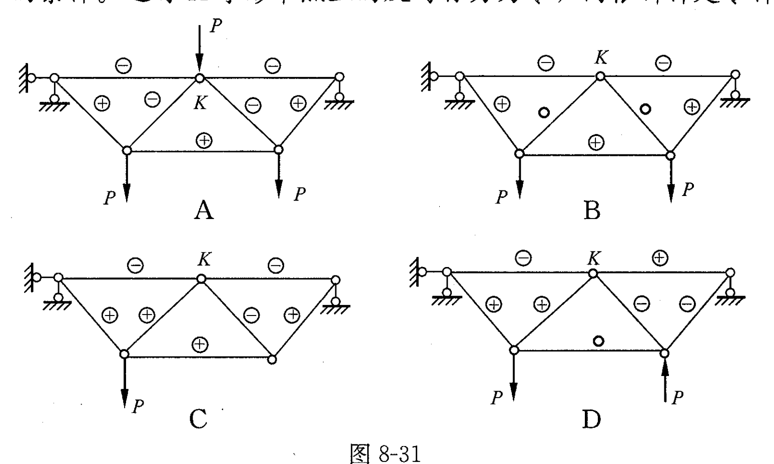
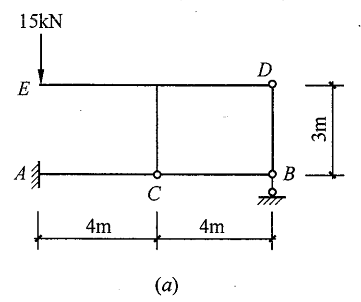


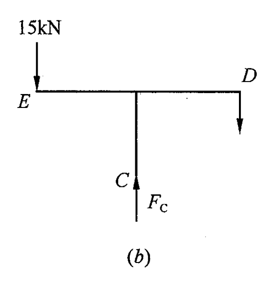
图 8-31

答案：B

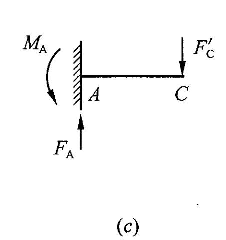
例 8-12 （2010 年） 图 8-32(a) 所示结构固定支座 A 的竖向反力为：



(a)



(b)



(c)

图 8-32

A　30kN　　　B　20kN　　　C　15kN　　　D　0kN

提示： 这是一个物体系统的平衡问题。首先，根据零件判别法，由 B 点的受力分析可知 BC 杆为零杆，可以把 BC 杆撤去以简化计算。然后，取 CDE 杆为研究对象，画出杆 CDE 的受力图，如图 8-32(b) 所示。由 $\Sigma M_D=0$，可得：

$$F_C\times4=15\times8\quad\therefore F_C=30\text{kN}$$

再取 AC 杆，画 AC 杆受力图，如图 8-32(c) 所示，由 $\Sigma F_Y=0$：$F_A=F'_C=30\text{kN}$

答案： A

第二节　静定梁的受力分析、剪力图与弯矩图

单跨静定梁分为悬臂梁、简支梁、外伸梁三种形式。

见图 8-33(a) 所示。

$$\begin{cases}\Sigma m_A=0：Y_B\cdot L=P\cdot\dfrac{2}{3}L\text{ 得 }Y_B=\dfrac{2}{3}P\\ \Sigma m_B=0：Y_A\cdot L=P\cdot\dfrac{L}{3}\text{ 得 }Y_A=\dfrac{P}{3}\\ \Sigma X=0：X_A=0\end{cases}$$

检验：$\Sigma Y=Y_A+Y_B-P=0$。

一、截面法求指定 x 截面的剪力 V，弯矩 M

（1）截开：如图 8-33(b) 所示；

（2）取左（或右）为研究对象；

（3）画左（或右）的受力图；

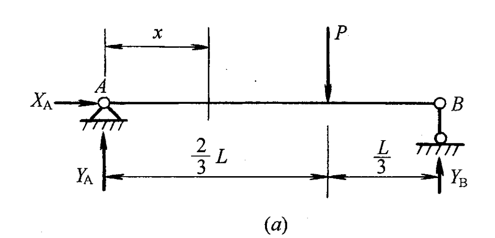
（4）列左（或右）的平衡方程。

$\Sigma Y=0$：$V=Y_A$

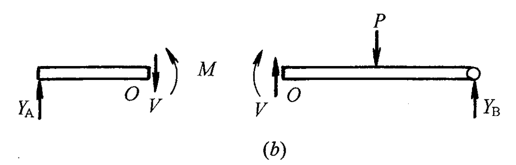
$\Sigma M_O=0$：$M=Y_A\cdot x$

【注意】 V、M 方向按正向假设画出。

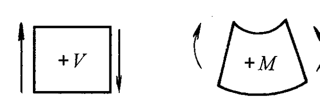
剪力与弯矩十、一号规定：如图 8-33(c)



(a)



(b)



(c)

图 8-33

所示。

剪力 V：顺时针为正，反之为负。

弯矩 M：如图向上弯为正，反之为负。

上题中，如

$$X=\frac{L}{3}\text{时：}$$

则 $$V=Y_A=\frac{P}{3} \quad \oplus$$

$$M=Y_A\cdot\frac{L}{3}=\frac{PL}{9} \quad \oplus$$

从左、从右计算结果相同。

外伸梁如图 8-34（a）所示，求 $V_{C左}$，$M_{C左}$，$V_{C右}$，$M_{C右}$。

$$\Sigma M_A=0：qa^2+qa\cdot 3a=Y_B\cdot 2a+qa\cdot\frac{a}{2}$$

$$Y_B=\frac{7}{4}qa$$

$$\Sigma M_B=0：Y_A\cdot 2a+qa^2+qa\cdot a=qa\cdot\frac{5}{2}a$$

$$Y_A=\frac{1}{4}qa$$

检验：

$\Sigma Y=Y_A+Y_B-qa-qa=0$

如图 8-34(b)所示：

$$\Sigma Y=0：\frac{1}{4}qa=V_{C左}+qa$$

$$V_{C左}=\frac{1}{4}qa-qa=-\frac{3}{4}qa \qquad (8\text{-}9)$$

$$\Sigma M_O=0：M_{C左}+qa\cdot\frac{3}{2}a=\frac{1}{4}qa\cdot a$$

$$M_{C左}=\frac{1}{4}qa\cdot a-\frac{3}{2}qa^2=-\frac{5}{4}qa^2 \qquad (8\text{-}10)$$

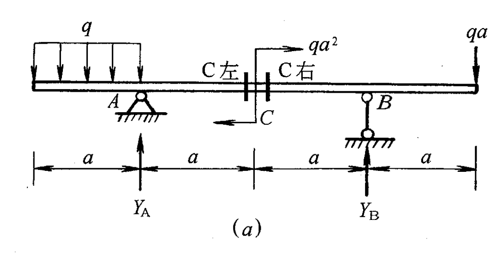
如图 8-34(c)所示：$\Sigma Y=0$：$V_{C右}+\frac{7}{4}qa=qa$

$$V_{C右}=qa-\frac{7}{4}qa=-\frac{3}{4}qa \qquad (8\text{-}11)$$

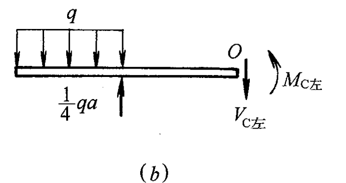
$$\Sigma M_O=0：M_{C右}+qa\cdot 2a=\frac{7}{4}\cdot qa\cdot a$$

$$M_{C右}=\frac{7}{4}qa\cdot a-qa\cdot 2a=-\frac{1}{4}qa^2 \qquad (8\text{-}12)$$

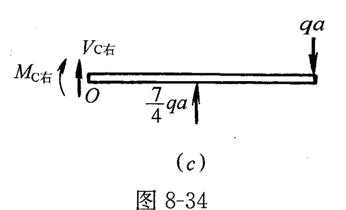
由式(8-9)，式(8-10)，式(8-11)，式(8-12)可以看出以下求剪力和弯矩的规律。



(a)



(b)



(c)

图 8-34

二、直接法求 V、M

剪力 V＝截面一侧（左侧或右侧）所有竖向外力的代数和，弯矩 M＝截面一侧（左侧或右侧）所有外力对截面形心 O 力矩的代数和。

式中各项的＋、－号：如图 8-35 所示为＋、反之为－。

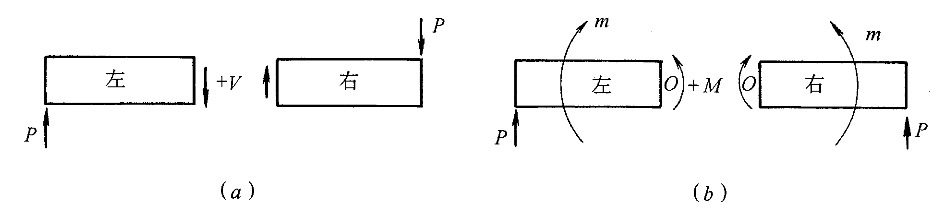


图 8-35

（a）产生正号剪力的外力；（b）产生正号弯矩的外力和外力偶

剪力图与弯矩图：根据剪力方程 $V=V(x)$，弯矩方程 $M=M(x)$ 画出。在图 8-36 中列出了几种常用的剪力图和弯矩图。

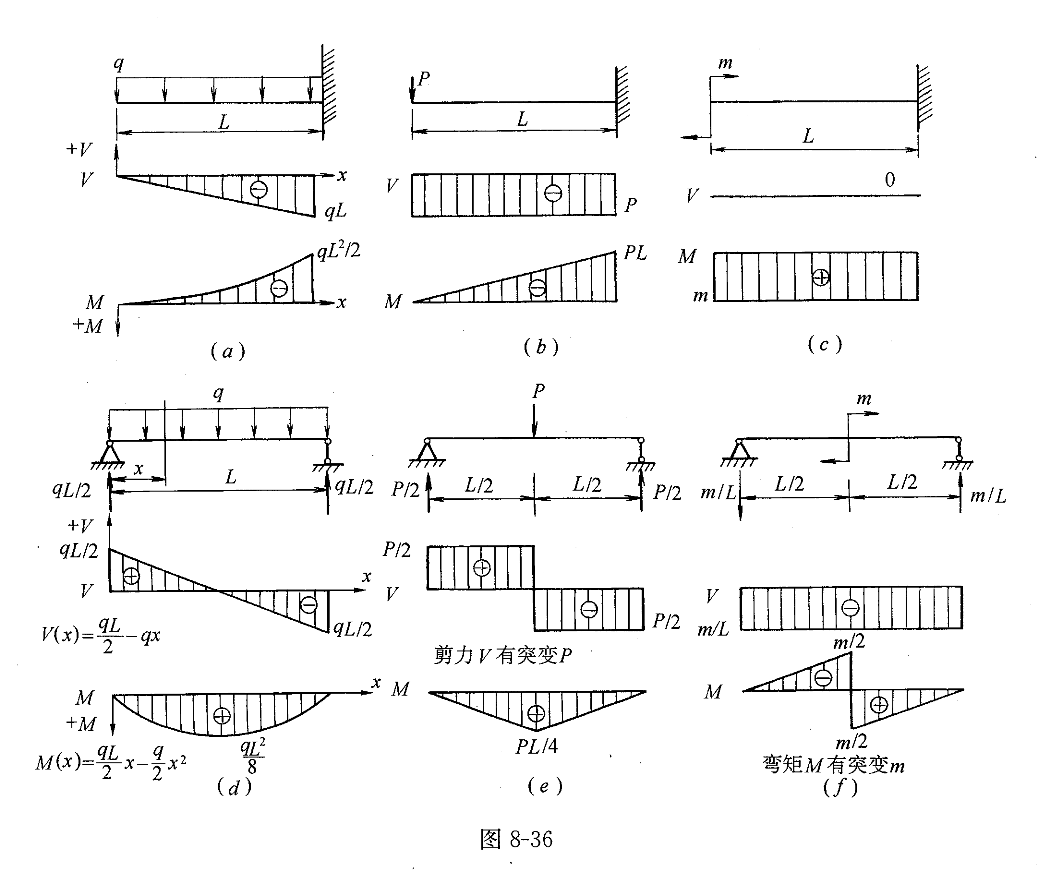


图 8-36

$q(x)$，$V(x)$，$M(x)$的微分关系：$\dfrac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}x}=q(x)$，$\dfrac{\mathrm{d}M}{\mathrm{d}x}=V(x)$，$\dfrac{\mathrm{d}^2M}{\mathrm{d}x^2}=q(x)$。根据微分关系可以得到荷载图、剪力图、弯矩图之间的规律，如图 8-37 所示。

从图 8-36、图 8-37 可以看出不同荷载情况下梁式直杆内力图的形状特征如下：

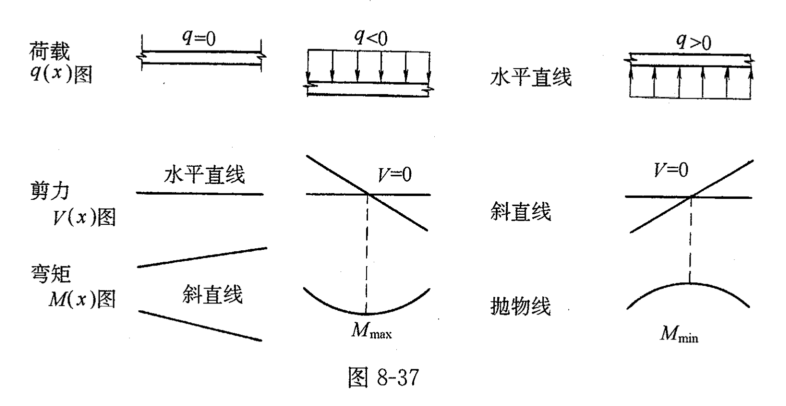


图 8-37

【口诀】：零、平、斜；平、斜、抛。

（1）无荷载区段：V 图为平直线，M 图为斜直线；当 V 为正时，M 图线相对于基线为顺时针转（锐角方向），当 V 为负时，为逆时针转，当 $V=0$ 时，M 图为平直线。

（2）均布荷载区段：V 图为斜直线，M 图为二次抛物线，抛物线的凸出方向与荷载指向一致，$V=0$ 处 M 有极值。

（3）集中荷载作用处：V 图有突变，突变值等于该集中荷载值，M 图为一尖角，尖角方向与荷载指向一致；若 V 发生变化，则 M 有极值。

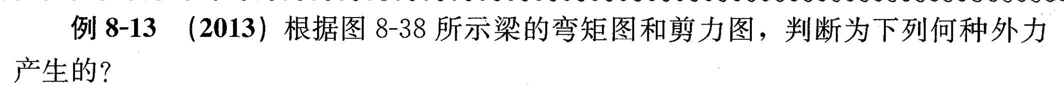
（4）集中力偶作用处：M 图有突变，突变值等于该集中力偶值，V 图无变化。

（5）铰节点一侧截面上：若无集中力偶作用，则弯矩等于零；若有集中力偶作用，则弯矩等于该集中力偶值。

（6）自由端截面上：若无集中力（力偶）作用，则剪力（弯矩）等于零；若有集中力（力偶）作用，则剪力（弯矩）值等于该集中力（力偶）值。

内力图的上述特征（微分规律、突变规律、端点规律）适用于梁、刚架、组合结构等各类结构的梁式直杆，并且与结构是静定还是超静定无关。

例 8-13 **（2013）**根据图 8-38 所示梁的弯矩图和剪力图，判断为下列何种外力产生的？



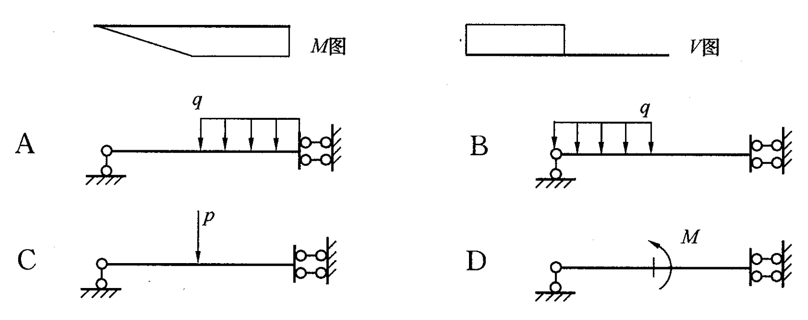


图 8-38

提示：根据“零平斜、平斜抛”的规律，可知外力图中不应有均布荷载，A、B 图不对。又根据剪力图 V 图中间截面上有突变，在外力图上应对称有集中力 P，故只能选 C 图。

答案：C

例 8-14 （2009） 关于图 8-39 所示结构的内力图，以下说法正确的是(　　)。

A　M 图、V 图均正确

B　M 图正确，V 图错误

C　M 图、V 图均错误

D　M 图错误，V 图正确

提示： 图 8-39 所示梁上无均布荷载作用，因此根据荷载图、剪力图、弯矩图的关系，应该是“零、平、斜”的规律；剪力图应为水平直线，弯矩图为斜直线，故剪力图是错误的。再计算原图的支座反力为 $\frac{M}{a}$，左端支反力向下，右边的支反力向上，可验证 M 图是正确的。

答案： B

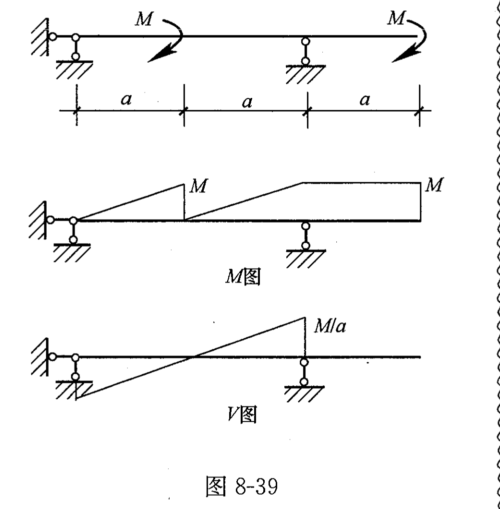


图 8-39

三、快速作图法（简易作图法）

快速作图法又称简易作图法，如图 8-40、图 8-41 所示，其步骤如下：

（1）求支反力，并校核；

（2）根据外力不连续点分段；

（3）确定各段 V、M 图的大致形状；

（4）由直接法求分段点、极值点的 V、M 值。

如图 8-40 所示。

如图 8-41 所示。

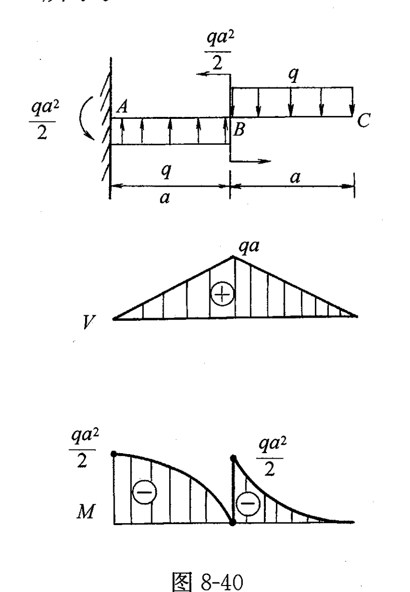


图 8-40

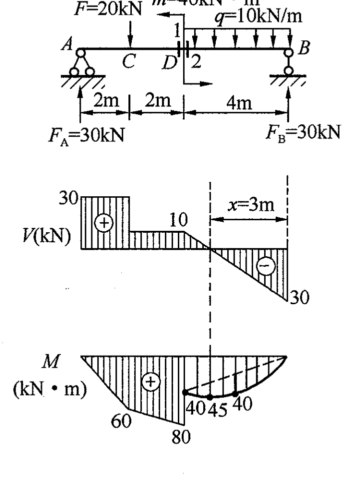


图 8-41

取整体：

$$\Sigma M_A=0：F_B\times8+40=20\times2+（10\times4）\times6$$

$$F_B=30\text{kN}$$

$$\Sigma Y=0：F_A+F_B=20+10\times4$$

$$F_A=30\text{kN}$$

直接法（截面法）：

$$V_1=30-20=10\text{kN}$$

$$V_2=10\times4-30=10\text{kN}$$

$$M_1=30\times4-20\times2=80\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_2=30\times4-(10\times4)\ \times2=40\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$V(x)=10x-30=0, x=3\text{m}$$

$$M(x)=30\times3-10\times3\times\frac{3}{2}=45\text{kN}\cdot\text{m}$$

四、叠加法作弯矩图

梁上同时作用几个荷载时所产生的弯矩等于各荷载单独作用时的弯矩的代数和。

如图 8-42 所示。

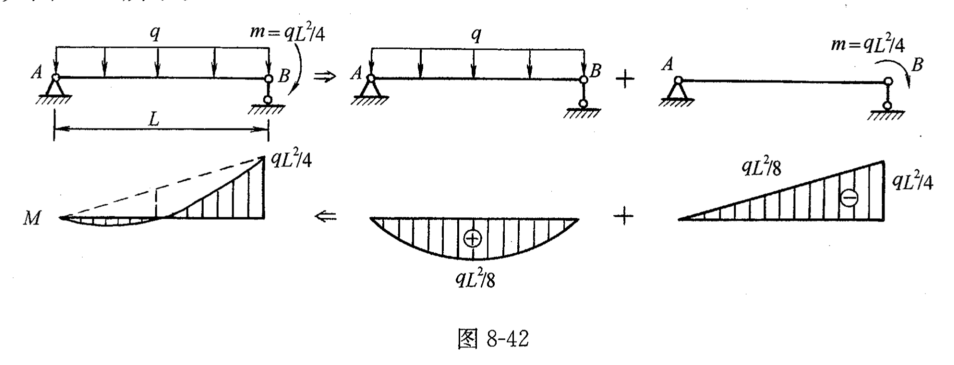


图 8-42

如图 8-43 所示。

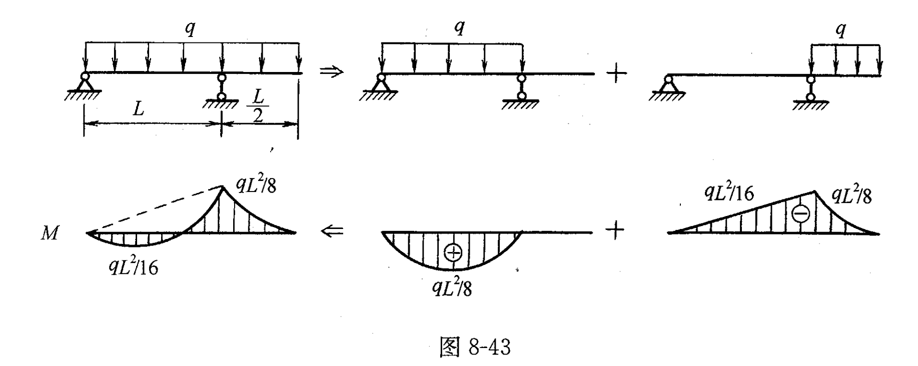


图 8-43

如图 8-44 所示。

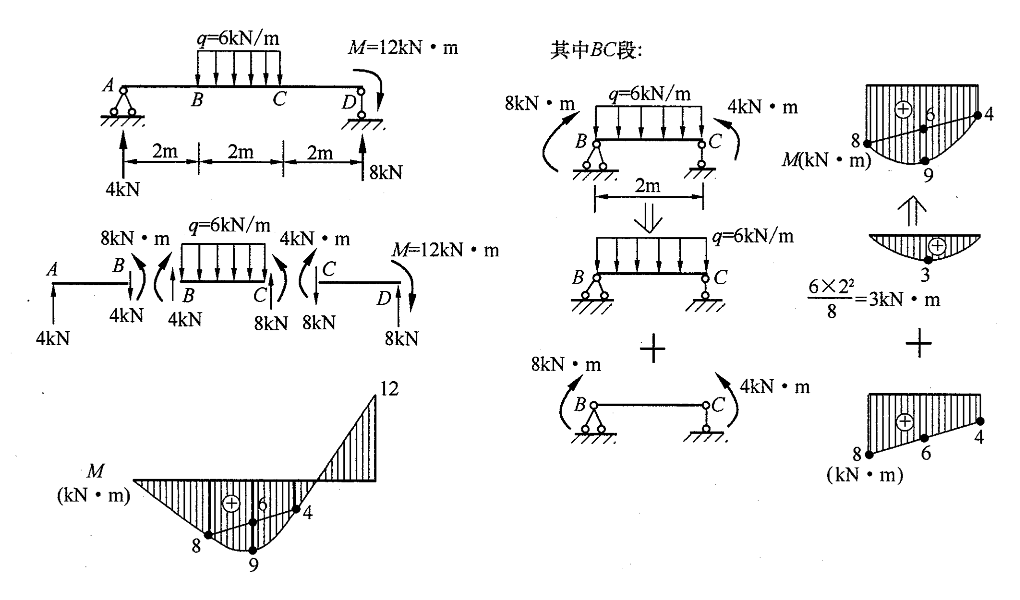


图 8-44

本例中求 BC 段弯矩图的方法称为区段叠加法，可推广到求任一杆段的弯矩图：

(1) 先求出杆段两端的弯矩值，画出杆段在杆端弯矩作用下对应的直线图形。

(2) 再叠加上将杆段视为简支梁在杆段荷载作用下的弯矩图，就可以了。叠加时注意应是对应点处弯矩值代数相加，(参见图 8-41 及其说明)。

第三节　静定结构的受力分析、剪力图与弯矩图

静定结构包括静定桁架、静定梁、多跨静定梁、静定刚架、三铰刚架、三铰拱等。

一、多跨静定梁

多跨静定梁是由若干根梁用铰相连，并与基础用若干个支座连接而成的静定结构。例如图 8-45 中的多跨静定梁，AB 部分（在竖向荷载作用下）不依赖于其他部分的存在就能独立维持其自身的平衡，故称为基本部分；BC 部分则必须依赖于基本部分才能维持其自身的平衡，故称为附属部分。

受力分析时要从中间铰链处断开，首先分析比较简单的附属部分，然后分别按单跨静定梁处理。如图 8-45～图 8-48 所示。

二、静定刚架

静定平面刚架的常见形式有悬臂刚架、简支刚架、外伸刚架，它们是由单片刚接杆件与基础直接相连，各有三个支座反力。

弯矩 M 画在受拉一侧，剪力 V、轴力 N 要标明＋、－号。

实际上，如果观察者站在刚架内侧，把正弯矩画在刚架内侧，把负弯矩画在刚架外侧，那么与弯矩画在受拉一侧是完全一致的。如图 8-49、图 8-50 所示。

校核：利用刚节点 C 的平衡。

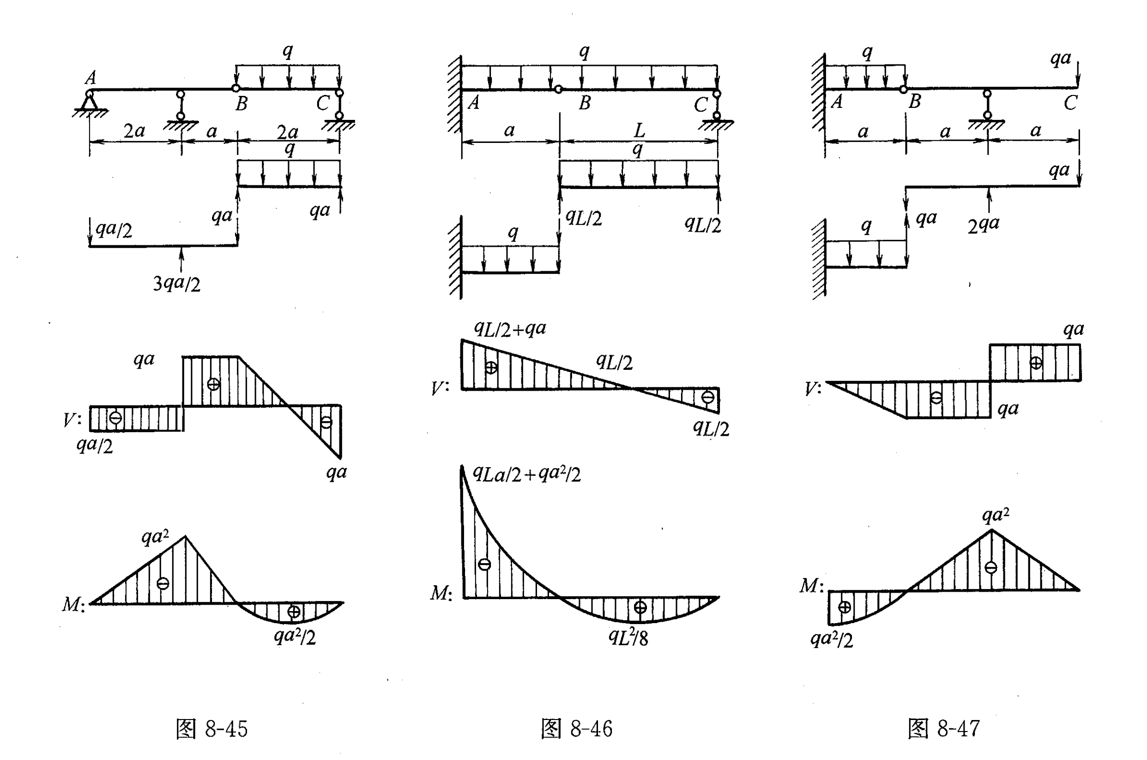


图 8-45　　图 8-46　　图 8-47

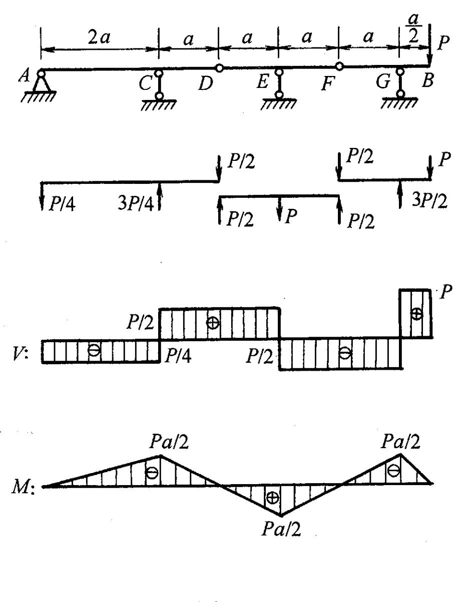


图 8-48

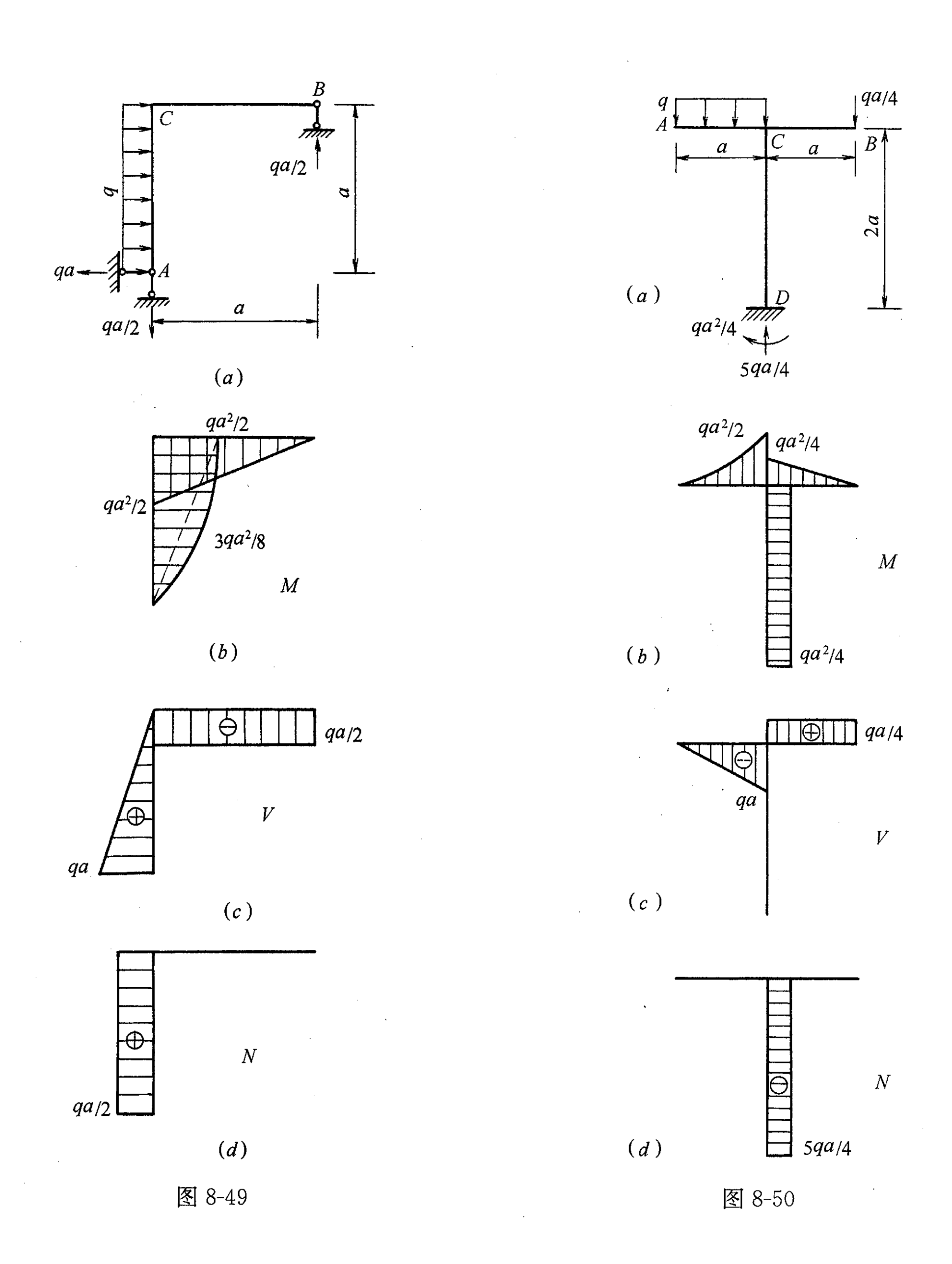
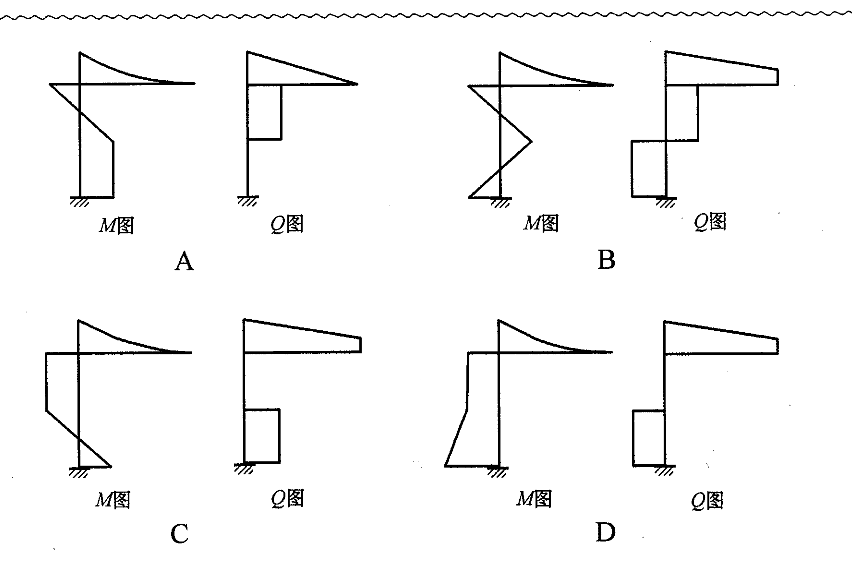


图 8-49　　　　图 8-50

例 8-15　**（2010）** 图 8-51 所示刚架在外力作用下，下列何组 M、Q 图正确？

图 8-51



提示： 由受力分析可知，A 端的支座反力 $F_{Ax}=P$，为水平向左，F_{Ay} 为铅垂向上，而固定端 A 的反力偶矩 M_A 为绕 A 端逆时针转动。故 A 端弯矩为左侧受拉，M 图画在 A 端左侧，而 BC 段剪力 $Q=0$，因此只能选 D。

答案： D

例 8-16 （2013） 图 8-52 所示结构的受力弯矩图，正确的是：

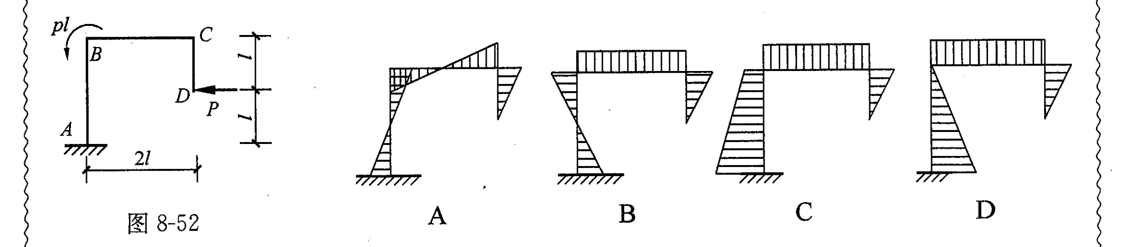


图 8-52

提示： 首先分析整体受力，根据约束反力的方向永远与主动力的运动趋势相反的规律，可以判断固定端的反力偶 M_A 为顺时针方向；如图 8-53 所示，A 端右侧受拉，M 图在 A 端应画在右侧，故可排除 A 和 C；然后再根据刚节点 B 的平衡关系，可见 D 图是正确的。

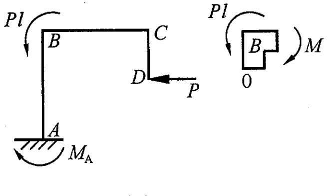
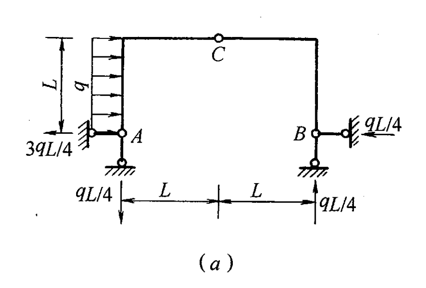


图 8-53

答案： D

三、三铰刚架

三铰刚架由两片刚接杆件与基础之间通过三个铰两两铰接而成，有 4 个支座反力（图 8-54）。三铰刚架的一个重要受力特性是在竖向荷载作用下会产生水平反力（即推力）。多跨（或多层）静定刚架则与多跨静定梁类似，其各部分可以分为基本部分[如图 8-55(a)中的 ACD 部分]和附属部分[如图 8-55(a)中的 BC 部分]。



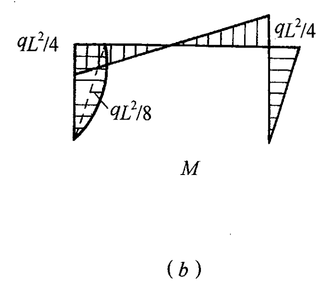
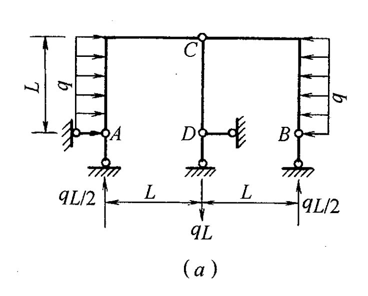


图 8-54



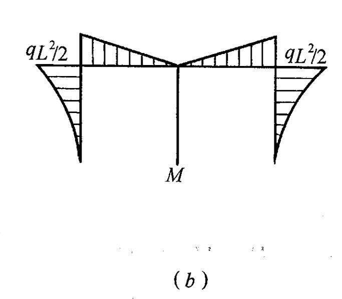


图 8-55

如图 8-56(a)所示的三铰刚架，可先取整体研究平衡：

$$\Sigma m_A=0\text{：}Y_B\cdot 2a=qa\cdot\frac{3}{2}a\text{，}Y_B=\frac{3}{4}qa$$

$$\Sigma m_B=0\text{：}Y_A\cdot 2a=qa\cdot\frac{a}{2}\text{，}Y_A=\frac{qa}{4}$$

再取 AC 平衡：

$$\Sigma m_C=0\text{：}X_A\cdot a=Y_A\cdot a.\quad X_A=Y_A=\frac{qa}{4}$$

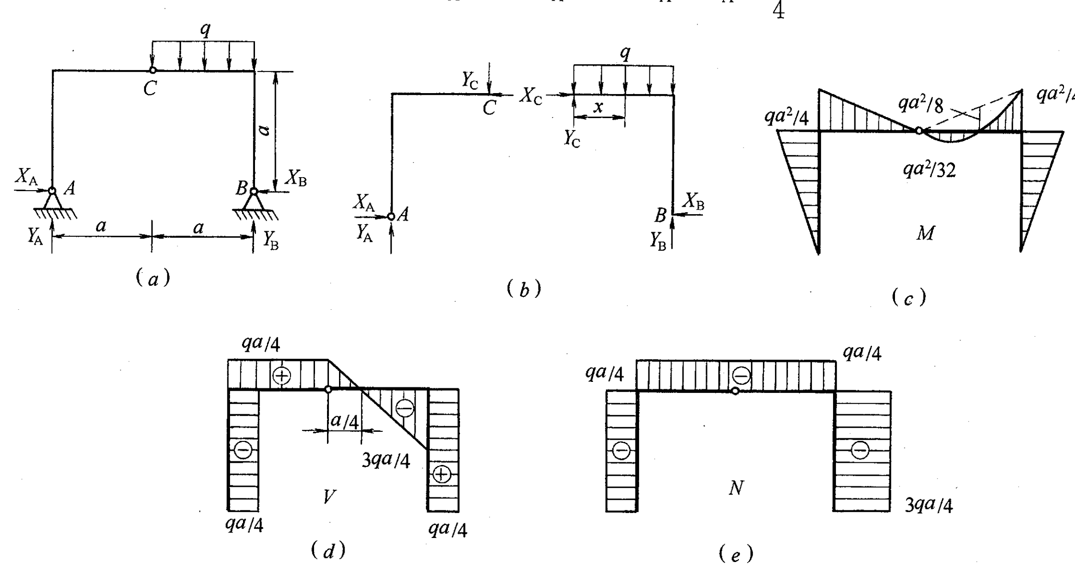


图 8-56

$$\Sigma X=0：X_C=X_A=\frac{qa}{4}$$

$$\Sigma Y=0：Y_C=Y_A=\frac{qa}{4}$$

最后取 BC，平衡：$X_B=X_C=\frac{qa}{4}$，令 $V(x)=\frac{qa}{4}-qx=0$，

得 $x=\frac{a}{4}$　$M(x)=\frac{qa}{4}\cdot\frac{a}{4}-\frac{q}{2}\left(\frac{a}{4}\right)^2=\frac{qa^2}{32}$

例 8-17　(2013) 关于图 8-57 所示结构受力，正确的是：

A　$R_A=R_B$、$V_A=V_B$

B　$R_A<R_B$、$V_A>V_B$

C　$R_A<R_B$、$V_A=V_B$

D　$R_A>R_B$、$V_A=V_B$

提示： 首先从整体受力分析可知 $V_A=V_B$，再把中间铰链拆开，分别画出 AD 杆和 BD 杆的受力图，如图 8-58 所示。取 BD 杆，由 $\Sigma M_D=0$，得：$R_B\times2=V_B\times2$，所以，$R_B=V_B$，也即 $R_B=V_B=V_A$；再取 AD 杆，由 $\Sigma M_D=0$，得：$R_A\times2=V_A\times3$，所以 $R_A=\frac{3}{2}V_A$，也即 $R_A=\frac{3}{2}R_B$

答案： D

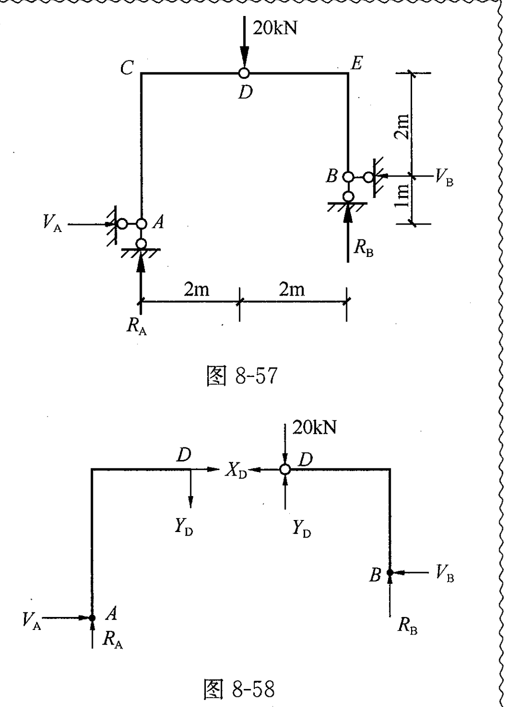


图 8-57

图 8-58

四、三铰拱

三铰拱是一种静定的拱式结构，它由两片曲杆与基础间通过三个铰两两铰接而成，与三铰刚架的组成方式类似，都属于推力结构。

拱结构与梁结构的区别，不仅在于外形不同，更重要的还在于在竖向荷载作用下是否产生水平推力。为避免产生水平推力，有时在三铰拱的两个拱脚间设置拉杆来消除支座所承受的推力，这就是所谓的带拉杆的三铰拱。如图 8-59(*a*)所示三铰拱的水平推力 F_x 等于相应简支梁[图 8-59(*c*)]上与拱的中间铰位置相对应的截面 C 的弯矩 M_C^0 除以拱高 f，即 $F_x=\frac{M_C^0}{f}$。拱的合理轴线，可以在给定荷载作用下，使拱上各截面只承受轴力，而弯矩为零。

五、应力、惯性矩、极惯性矩、截面模量和面积矩的概念

应力是横截面上内力分布的集度，数值上等于单位面积上的内力。应力的单位与压强

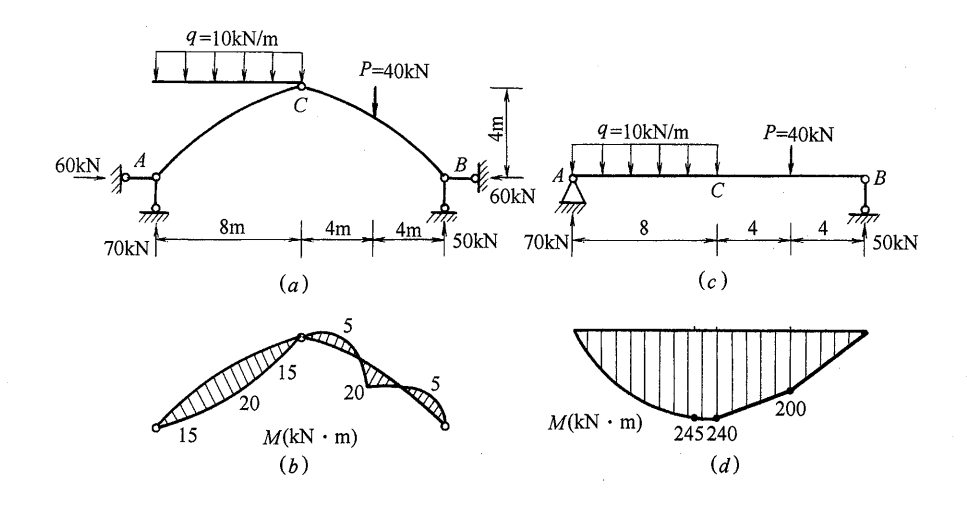


图 8-59

相同，量纲是 Pa，$1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$，$1\text{kPa}=10^3\text{Pa}$，$1\text{MPa}=10^6\text{Pa}=1\text{N/mm}^2$，$1\text{GPa}=10^9\text{Pa}$。

正应力 σ 是与横截面垂直（正交）的应力分量，剪应力 τ 是与横截面相切的应力分量。

惯性矩、极惯性矩、截面模量和面积矩都是只与截面的形状与尺寸有关的截面图形的几何性质，参见图 8-60，图中 A 为截面面积。

惯性矩 $$I_z=\int_A y^2\mathrm{d}A,\quad I_y=\int_A z^2\mathrm{d}A \tag{8-13}$$

极惯性矩 $$I_P=\int_A \rho^2\mathrm{d}A=I_z+I_y \tag{8-14}$$

抗弯截面模量 $$W_z=\frac{I_z}{y_{\max}} \tag{8-15}$$

抗扭截面模量 $$W_P=\frac{I_P}{\rho_{\max}} \tag{8-16}$$

图 8-60

面积矩 $$S_z=\int_A y\mathrm{d}A=A\cdot y_c$$

$$=A_1y_1+A_2y_2+A_3y_3+\cdots\cdots \tag{8-17}$$

惯性矩的平行移轴公式 $$I_z=I_{zc}+a^2A \tag{8-18}$$

其中 z_c 为形心轴，a 为两平行轴 z 轴与 z_c 轴之间的距离。

六、杆的四种基本变形一览表（表 8-3）

杆的四种基本变形一览表 **表 8-3**

类型	轴向拉伸（压缩）	剪 切	扭 转	平 面 弯 曲	
外力特点					
横截面内力	轴力 N 等于截面一侧所有轴向外力代数和	剪力 V 等于 P	扭矩 T 等于截面一侧对 x 轴外力偶矩代数和	弯矩 M 等于截面一侧外力对截面形心力矩代数和	剪力 V 等于截面一侧所有竖向外力代数和
应力分布情况	均布	假设均布	线性分布	线性分布	抛物线分布
应力公式	$\sigma=\frac{N}{A}$	$\tau=\frac{V}{A_s}$ $\sigma_{bs}=\frac{P_{bs}}{A_{bs}}$	$\tau_\rho=\frac{T}{I_P}\rho$	$\sigma=\frac{M}{I_z}y$	$\tau=\frac{VS_z}{bI_z}$
强度条件	$\sigma_{max}=\frac{N_{max}}{A}\leqslant[\sigma]$	$\tau=\frac{V}{A_s}\leqslant[\tau]$ $\sigma_{bs}=\frac{P_{bs}}{A_{bs}}\leqslant[\sigma_{bs}]$	$\tau_{max}=\frac{T_{max}}{W_P}\leqslant[\tau]$	$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W_z}\leqslant[\sigma]$	$\tau_{max}=\frac{V_{max}S_{zmax}}{bI_z}\leqslant[\tau]$ 矩形 $\tau_{max}=\frac{3V_{max}}{2A}$
变形	$\Delta l=\frac{Nl}{EA}$		$\phi=\frac{Tl}{GI_P}$	$f_c=\frac{5ql^4}{384EI}$	$\theta_A=\frac{ql^3}{24EI}$
刚度条件			$\theta_{max}=\frac{T}{GI_P}\leqslant[\theta]$	$\frac{f_{max}}{l}\leqslant\left[\frac{f}{l}\right]$	$\theta_{max}\leqslant[\theta]$

其中　矩形截面如图 8-61(a)所示：

$$I_z=\frac{bh^3}{12}\quad W_z=\frac{bh^2}{6}\quad S_z=\frac{bh^2}{8}$$

$$I_y=\frac{hb^3}{12}\quad W_y=\frac{hb^2}{6} \tag{8-19}$$

圆形截面如图 8-61（b）所示：

$$I_z=I_y=\frac{\pi}{64}D^4\quad W_z=W_y=\frac{\pi}{32}D^3 \tag{8-20}$$

$$I_P=\frac{\pi}{32}D^4\quad W_P=\frac{\pi}{16}D^3 \tag{8-21}$$

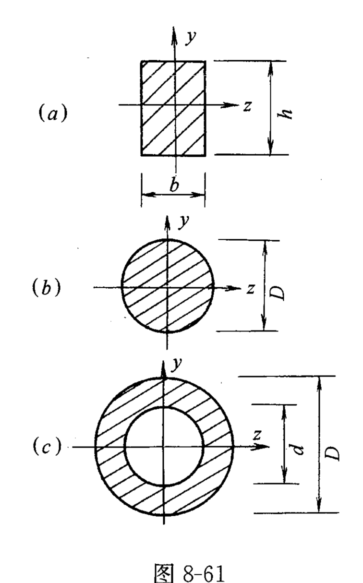


图 8-61

空心圆截面如图 8-61（c）所示，设 $\alpha=\frac{d}{D}$

$$I_z=I_y=\frac{\pi}{64}D^4\ (1-\alpha^4)\qquad W_z=W_y=\frac{\pi}{32}D^3\ (1-\alpha^4)\tag{8-22}$$

$$I_P=\frac{\pi}{32}D^4\ (1-\alpha^4)\qquad W_P=\frac{\pi}{16}D^3\ (1-\alpha^4)\tag{8-23}$$

表 8-3 中 E 为材料拉压弹性模量，A 为横截面面积，G 为材料剪变模量。EA 为杆件的抗拉（压）刚度，GA 为杆件的抗剪刚度，GI_P 为杆件的抗扭刚度，EI 为杆件的抗弯刚度。

七、静定结构的基本特征

在几何组成方面，静定结构是没有多余约束的几何不变体系。在静力学方面，静定结构的全部反力和内力均可由静力平衡条件确定。其反力和内力只与荷载以及结构的几何形状和尺寸有关，而与构件所用材料及其截面形状和尺寸无关，与各杆间的刚度比无关。

由于静定结构不存在多余约束，因此可能发生的支座沉降、温度改变、制造误差，以及材料的收缩或徐变，会导致结构产生位移，但不会产生反力和内力。

常用的几类静定结构的内力特点：

（1）梁。梁为受弯构件，由于其截面上的应力分布不均匀，故材料的效用得不到充分发挥。简支梁一般多用于小跨度的情况。在同样跨度并承受同样均布荷载的情况下，悬臂梁的最大弯矩值和最大挠度值都远大于简支梁，故悬臂梁一般只宜作跨度很小的阳台、雨篷、挑廊等承重结构。

（2）桁架。在理想的情况下，桁架各杆只产生轴力，其截面上的应力分布均匀且能同时达到极限值，故材料效用能得到充分发挥，与梁相比它能跨越较大的跨度。

（3）三铰拱。三铰拱也是受弯结构，由于有水平推力，所以拱的截面弯矩比相应简支梁的弯矩要小，利用空间也比简支梁优越，常用作屋面承重结构（图 8-59）。

（4）三铰刚架。内力特点与三铰拱类似，且具有较大的空间，多用于屋面的承重结构。

第四节　图乘法求位移

结构在荷载或其他一些因素（如温度改变、支座移动、材料收缩、制造误差等）的作用下会产生变形和位移。结构位移计算的常用方法是单位荷载法，它是基于变形体系的虚功原理建立的。

利用虚功原理计算结构的位移，首先要虚设一个单位力状态，即在原结构所求位移处沿位移方向虚设一个与所求位移对应的单位力。这样，力状态的外力（包括单位力及所引起的支座反力）在实际状态的位移上所做的虚功，就等于力状态的内力在实际位移状态的变形上所做的虚功（或称虚变形能），即：

$$1\times\Delta+\Sigma\overline{R}c=\Sigma\int\overline{N}\mathrm{d}u+\Sigma\int\overline{M}\mathrm{d}\varphi+\Sigma\int\overline{Q}\mathrm{d}v$$

或

$$\Delta=\Sigma\int\overline{N}\mathrm{d}u+\Sigma\int\overline{M}\mathrm{d}\varphi+\Sigma\int\overline{Q}\mathrm{d}v-\Sigma\,\overline{R}c$$

式中　Δ 为所求位移；$\overline{R}$ 和 $\overline{N}$、$\overline{M}$、$\overline{Q}$ 分别为虚拟力状态中的支座反力、轴力、弯矩和剪力，c 为实际状态的支座位移。

对于桁架结构，

$$\Delta=\sum_{i=1}^{n}\frac{N_i\overline{N}_i l_i}{EA} \tag{8-24}$$

式中　N_i——外荷载产生的各杆轴力；

$\overline{N}_i$——单位荷载产生的各杆轴力；

l_i——各杆长度；

EA——各杆抗拉刚度。

例 8-18　（2008） 为减少图 8-62 所示结构 B 点的水平位移，最有效的措施是(　　)。

A　增加 AB 的刚度 EA_{AB}

B　增加 AC 的刚度 EA_{AC}

C　增加 BD 的刚度 EA_{BD}

D　增加 CD 的刚度 EA_{CD}

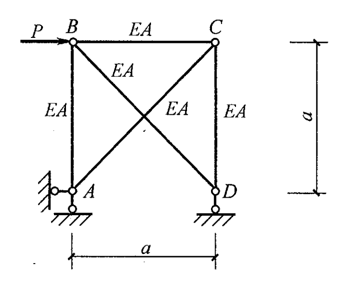


图 8-62

提示： $N_{BD}=0$，$N_{BA}=0$，$N_{BC}=N_{CD}=-P$，$N_{AC}=\sqrt{2}P$

根据单位力法位移计算公式 $\Delta=\Sigma\frac{\overline{N}N_{P}L}{EA}$ 可知，AC 杆对 B 点的水平位移贡献最大，故为减少 B 点的水平位移，最有效的措施是增加 AC 的刚度。

答案： B

对于梁和刚架结构，荷载作用下杆件的剪切和轴向变形对位移的贡献一般较小，可以忽略。这样梁和刚架在荷载作用下的位移计算公式可以简化为（因梁截面的弯曲变形为 $\mathrm{d}\varphi=\frac{M_P}{EI}\mathrm{d}x$）：

$$\Delta=\Sigma\int\frac{\overline{M}M_P}{EI}\mathrm{d}x \tag{8-25}$$

利用上式计算梁和刚架的位移时，如果结构满足以下三个条件，则可采用图乘法代替公式中的积分运算：

（1）杆轴为直线；

（2）杆段 EI=常数；

（3）各杆段的两个弯矩图至少有一个为直线图形。

利用图乘法，各杆段的上述积分式就等于一个图形的面积乘以其形心对应位置的另一图形的竖标，但取竖标的图形必须为直线（图 8-63）。

$$\Delta=\sum_{i=1}^{n}\int_{L_i}\frac{M_P\overline{M}}{EI}\mathrm{d}x=\sum_{i}\frac{1}{EI}\omega_P\cdot y_C \tag{8-26}$$

式中　M_P——外荷载作用时的弯矩图；

$\overline{M}$——单位荷载作用时的弯矩图；

ω_P——M_P 图的面积；

y_C——M_P 图形心对应的 $\overline{M}$ 图的坐标。

图 8-63

【注意】 1. 结果按 ω_P 与 y_C 在基线的同一侧时为正，否则为负；

2. y_C 必须从直线图形上取得；

3. 叠加法：$\Delta=\frac{1}{EI}(\omega_1 y_1+\omega_2 y_2+\omega_3 y_3)$

其中 M_P、$\overline{M}$ 都可以是几个图形组成，求代数和；

4. 常遇图形的面积及其形心的位置如下（图8-64中曲线为二次抛物线）。

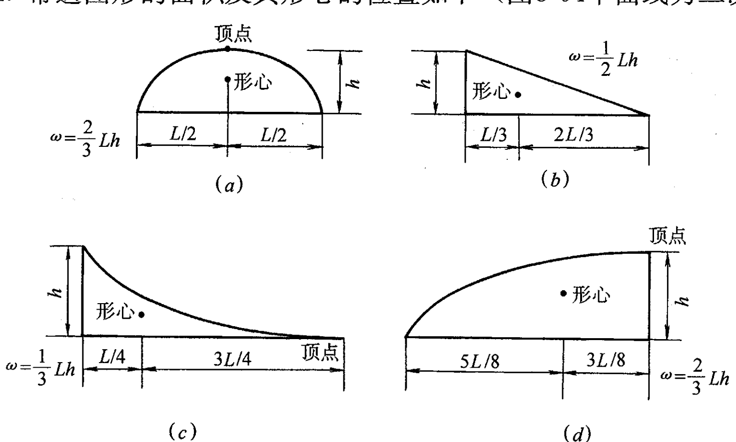
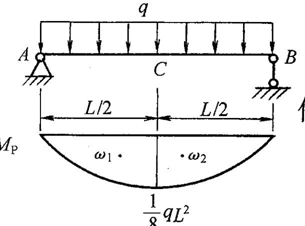


图 8-64



试求图 8-65 所示简支梁 A 端的角位移 Φ_A 和中点 C 的竖向位移 Δ_C，EI 为常数，$\omega=\omega_1+\omega_2$。

$$\Phi_A=\frac{1}{EI}\omega\cdot y_C$$

$$=\frac{1}{EI}\left(\frac{2}{3}L\cdot\frac{qL^2}{8}\right)\times\frac{1}{2}$$

$$=\frac{qL^3}{24EI}\ (\downarrow)$$

$$\Delta_C=\frac{1}{EI}(\omega_1 y_1+\omega_2 y_2)=\frac{2}{EI}\omega_1 y_1$$

$$=\frac{2}{EI}\left(\frac{2}{3}\cdot\frac{L}{2}\cdot\frac{qL^2}{8}\right)\cdot\frac{5}{32}L$$

$$=\frac{5qL^4}{384EI}\ (\downarrow)$$

图 8-65

例 8-19　（2009） 以下关于图 8-66 所示两结构 A、B 点的水平位移，正确的是(　　)。

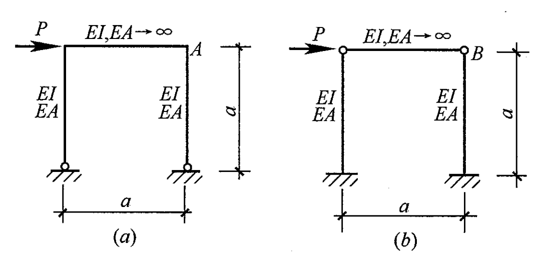


图 8-66

A　$\Delta_A=1.5\Delta_B$　　　　B　$\Delta_A=\Delta_B$

C　$\Delta_A=0.75\Delta_B$　　　　D　$\Delta_A=0.5\Delta_B$

提示：

【方法一】A 点所在结构为对称结构，受反对称荷载，可简化为［图 8-67(a)］。B 点所在结构为一次超静定排架，可简化为［图 8-67(b)］。然后分别用图乘法计算，设横杆刚度为 EI_2 可得：

$$\Delta_A=\frac{1}{EI}\omega_1 y_1+\frac{1}{EI_2}\omega_2 y_2$$

$$=\frac{1}{EI}\left(\frac{1}{2}\cdot a\cdot\frac{Pa}{2}\right)\cdot\frac{2}{3}a+0$$

$$=\frac{Pa^3}{6EI}$$

$$\Delta_B=\frac{1}{EI}\omega_p\cdot y_C$$

$$=\frac{1}{EI}\left(\frac{1}{2}\cdot a\cdot\frac{Pa}{2}\right)\frac{2}{3}a=\frac{Pa^3}{6EI}$$

$\therefore\quad \Delta_A=\Delta_B$

【方法二】从定性的角度分析，当横杆的刚度 EI 和 EA 趋于无穷大时，(a) 图上边的约束等价于 (b) 图下边的约束；而 (a) 图下边的约束等价于 (b) 图上边的约束。同时受力和反力也是等价的，因此 $\Delta_A=\Delta_B$。

图 8-67

答案： B

第五节　超 静 定 结 构

一、平面体系的几何组成分析

（一）几何不变体系、几何可变体系

1. 几何不变体系

在不考虑材料应变的条件下，任何荷载作用后体系的位置和形状均能保持不变［图

8-68 (a)、(b)、(c)]。这样的体系称为几何不变体系。

2. 几何可变体系

在不考虑材料应变的条件下，即使在微小的荷载作用下，也会产生机械运动而不能保持其原有形状和位置的体系 [图 8-68 (d)、(e)、(f)] 称为几何可变体系（也称常变体系）。

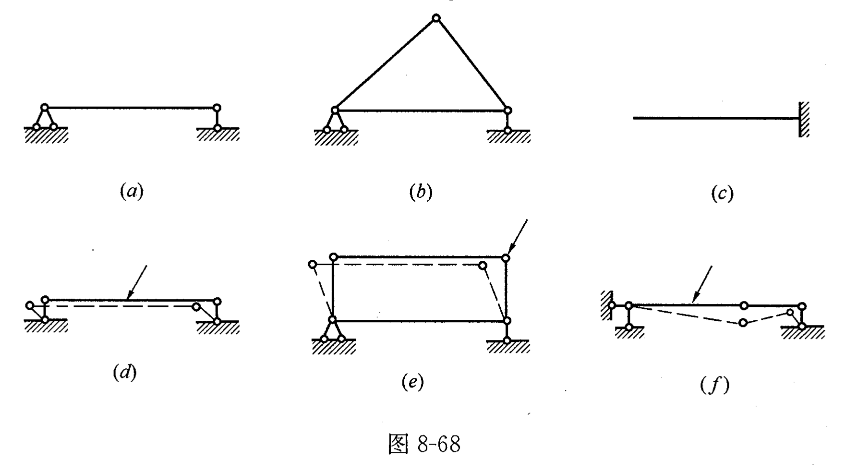


图 8-68

（二）自由度和约束的概念

1. 自由度

在介绍自由度之前，先了解一下有关刚片的概念。在几何组成分析中，把体系中的任何杆件都看成是不变形的平面刚体，简称刚片。显然，每根杆件或每根梁、柱都可以看作是一个刚片，建筑物的基础或地球也可看作是一个大刚片，某一几何不变部分也可视为一个刚片。这样，平面杆系的几何组成分析就在于分析体系各个刚片之间的连接方式能否保证体系的几何不变性。

自由度是指确定体系位置所需要的独立坐标（参数）的数目。例如，一个点在平面内运动时，其位置可用两个坐标来确定，因此平面内的一个点有两个自由度 [图 8-69 (a)]。又如，一个刚片在平面内运动时，其位置要用 x、y、φ 三个独立参数来确定，因此平面内的一个刚片有三个自由度 [图 8-69 (b)]。由此看出，**体系几何不变的必要条件是自由度等于或小于零。**那么，如何适当、合理地给体系增加约束，使其成为几何不变体系是以下要解决的问题。

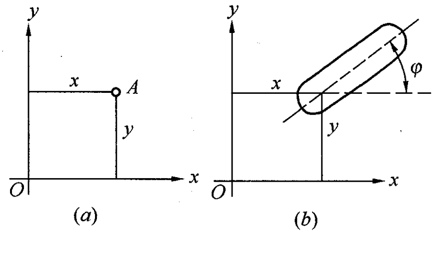
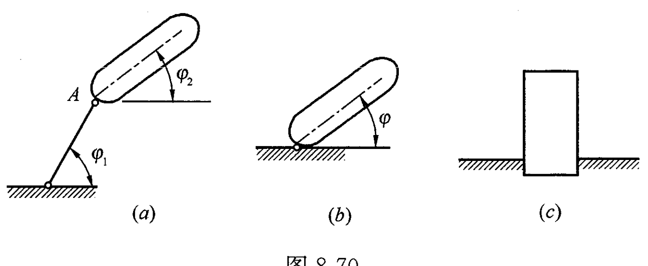


图 8-69

2. 约束和多余约束

减少体系自由度的装置称为约束。减少一个自由度的装置即为一个约束，并以此类推。约束主要有链杆（一根两端铰接于两个刚片的杆件称为链杆，如直杆、曲杆和折杆）、单铰（即连接两个刚片的铰）和刚结点三种形式。假设有两个刚片，其中一个不动，设为基础，此时体系的自由度为 3。若用一链杆将它们连接起来，如图 8-70 (a) 所示，则除了确定链杆连接处 A 的位置需一转角坐标 φ_1 外，确定刚片绕 A 转动时的位置还需一转角坐标 φ_2；此时只需两个独立坐标就能确定该体系的运动位置，则体系的自由度为 2，它比没有链杆时减少了一个自由度，所以**一根链杆相当于一个约束。**若用一个单铰把刚片同基

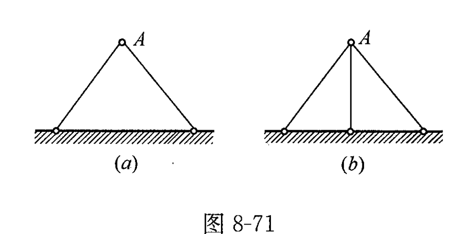
础连接起来，如图 8-70（b）所示，则只需转角坐标 φ 就能确定体系的运动位置，这时体系比原体系减少了两个自由度，所以**一个单铰相当于两个约束**。若将刚片同基础刚性连接起来，如图 8-70（c），则它们将成为一个整体，都不能动；体系的自由度为 0，因此**刚结点相当于三个约束**。



(a) (b) (c)

图 8-70

一个平面体系，通常都是由若干个构件加入一定约束组成的。加入约束的目的是为了减少体系的自由度。**如果在体系中增加一个约束，而体系的自由度并不因此而减少，则该约束被称为多余约束。**应当指出，多余约束只说明为保持体系几何不变是多余的，但在几何体系中增设多余约束，往往可以改善结构的受力状况，并非真是多余。



(a) (b)

图 8-71

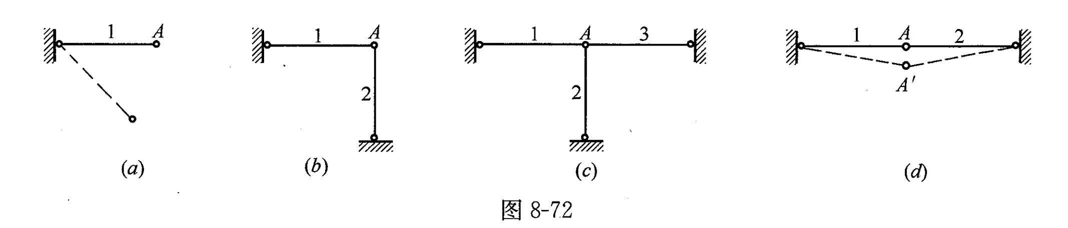
如图 8-71 所示，平面内有一自由点 A，在图 8-71（a）中 A 点通过两根链杆与基础相连，这时两根链杆分别使 A 点减少一个自由度，而使 A 点固定不动，因而两根链杆都非多余约束。在图 8-71（b）中，A 点通过三根链杆与基础相连，这时 A 虽然固定不动，但减少的自由度仍然为 2，显然三根链杆中有一根没有起到减少自由度的作用，因而是多余约束（可把其中任意一根作为多余约束）。

又如图 8-72（a）表示在点 A 加一根水平的支座链杆 1 后，A 点还可以移动，是几何可变体系。

图 8-72（b）是用两根不在一条直线上的支座链杆 1 和 2 把 A 点连接在基础上，A 点上下、左右移动的自由度全被限制住了，不能发生移动。故图 8-72（b）是**约束数目恰好够用的几何不变体系，称为无多余约束的几何不变体系。**

图 8-72（c）是在图 8-72（b）的基础上又增加一根水平的支座链杆 3，这第三根链杆，就保持几何不变而言，是多余的，故图 8-72（c）是有一个多余约束的几何不变体系。

图 8-72（d）是用在一条水平直线上的两根链杆 1 和 2 把 A 点连接在基础上，保持几何不变的约束数目是够用的。但是这两根水平链杆只能限制 A 点的水平位移，不能限制 A 点的竖向位移。在图 8-72（d）两根链杆处于水平线上的瞬时，A 点可以发生很微小的竖向位移到 A' 点处，这时，链杆 1 和 2 不再在一直线上，A' 点就不继续向下移动了。这种本来是几何可变的，经微小位移后又成为几何不变的体系，称为**瞬变体系**。瞬变体系是



(a) (b) (c) (d)

图 8-72

约束数目够用，由于约束的布置不恰当而形成的体系。瞬变体系在工程中也是不能被采用的。

（三）几何不变体系的基本组成规则

基本规则是几何组成分析的基础，在进行几何组成分析之前先介绍一下虚铰的概念。

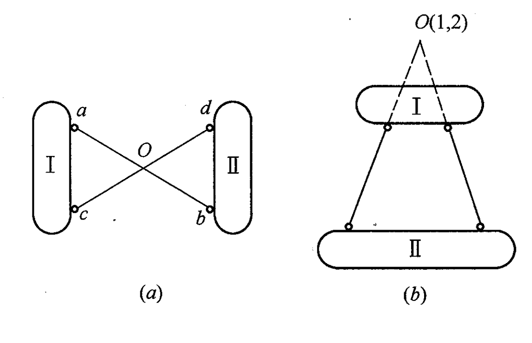


图 8-73

如果两个刚片用两根链杆连接［图 8-73（a）］，则这两根链杆的作用就和一个位于两杆交点 O 的铰的作用完全相同。由于在这个交点 O 处的并不是真正的铰，所以称它为**虚铰**。虚铰的位置即在这两根链杆的交点上，如图 8-73（a）的 O 点。

如果连接两个刚片的两根链杆并没有相交，则虚铰在这两根链杆延长线的交点上，如图 8-73（b）所示。

下面就分别叙述组成几何不变平面体系的三个基本规则：

1. 二元体概念及二元体规则

图 8-74（a）所示为一个三角形铰接体系，假如链杆Ⅰ固定不动，那么通过前面的叙述，我们已知它是一个几何不变体系。

将图 8-74（a）中的链杆Ⅰ看作是一个刚片，成为图 8-74（b）所示的体系。从而得出：

规则 1（二元体规则）：一个点与一个刚片用两根不共线的链杆相连，则组成无多余约束的几何不变体系。

由两根不共线的链杆连接一个节点的构造，称为二元体［如图 8-74（b）中的 BAC］。

推论 1：**在一个平面杆件体系上增加或减少若干个二元体，都不会改变原体系的几何组成性质。**

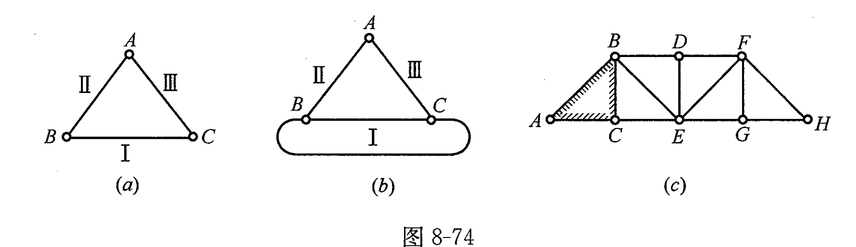


图 8-74

如图 8-74（c）所示的桁架，就是在铰接三角形 ABC 的基础上，依次增加二元体而形成的一个无多余约束的几何不变体系。同样，我们也可以对该桁架从 H 点起依次拆除二元体而成为铰接三角形 ABC。

2. 两刚片规则

将图 8-74（a）中的链杆Ⅰ和链杆Ⅱ都看作是刚片，就成为图 8-75（a）所示的体系。从而得出：

规则 2（两刚片规则）：两刚片用不在一条直线上的一个铰（*B* 铰）和一根链杆（*AC* 链杆）连接，则组成无多余约束的几何不变体系。例如简支梁、外伸梁就是实例。

如果将图 8-75（a）中连接两刚片的铰 B 用虚铰代替，即用两根不共线、不平行的链杆 a、b 来代替，就成为图 8-75（b）所示体系，则有：

推论 2：**两刚片用既不完全平行也不交于一点的三根链杆连接，则组成无多余约束的几何不变体系。**

如果三根链杆完全平行或交于一点，则成为可变体系。

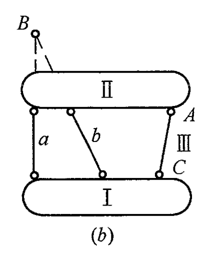


图 8-75

3. 三刚片规则

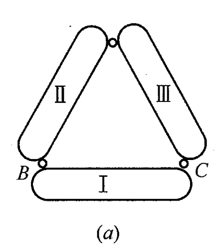
将图 8-74（a）中的链杆Ⅰ、链杆Ⅱ和链杆Ⅲ都看作是刚片，就成为图 8-76（a）所示的体系。从而得出：

规则 3（三刚片规则）：三刚片用不在一条直线上的三个铰两两连接，则组成无多余约束的几何不变体系。例如三铰刚架、三铰拱就是实例。

如果三个铰在一条直线上，则成为瞬变体系。

如果将图中连接三刚片之间的铰 A、B、C 全部用虚铰代替，即都用两根不共线、不平行的链杆来代替，就成为图 8-76（b）所示体系，则有：

推论 3：**三刚片分别用不完全平行也不共线的二根链杆两两连接，且所形成的三个虚铰不在同一条直线上，则组成无多余约束的几何不变体系。**



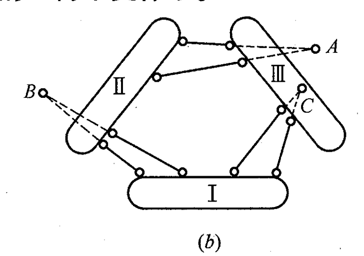


图 8-76

从以上叙述可知，这三个规则及其推论，实际上都是三角形规律的不同表达方式，即三个不共线的铰，可以组成无多余约束的铰接三角形体系。

例 8-20（2011 年）下列图 8-77 所示结构属于何种体系？

A 无多余约束的几何不变体系

B 有多余约束的几何不变体系

C 常变体系

D 瞬变体系

提示：

【方法一】依次拆除二元体 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10，得到一个简支梁 AB 和一个铰链支座 C（也是一个二元体）。显然是无多余约束的几何不变体系。

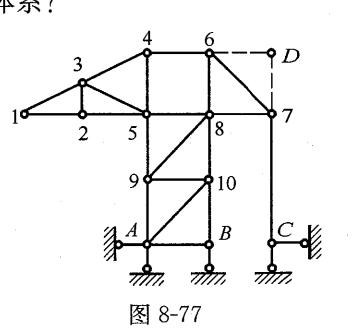


图 8-77

【方法二】把三角形结构 1-2-3-4-5 看作刚片Ⅰ，把三角形 6-7-8 看作刚片Ⅱ，把三角形结构 5-8-9-10-A-B 与地面连接在一起，看作刚片Ⅲ。这三个刚片用铰链 5、铰链 8 和虚铰 D 这三个铰链两两相连，组成一个无多余约束的几何不变体系。

答案： A

【注意】 从本题可以看到，采用不同的基本组成规则，分析的结果是唯一的。在分析具体问题时，要根据不同情况灵敏运用，尽可能采用最简捷的方法。

二、超静定结构的特点和优点：

（一）特点

（1）反力和内力只用静力平衡条件不能全部确定。

（2）具有多余约束（多余联系）的几何不变体系。

（3）超静定结构在荷载作用下的反力和内力仅与各杆的相对刚度有关，一般相对刚度较大的杆，其反力和内力也较大；各杆内力之比等于各杆刚度之比（见例 8-21）。

（4）超静定结构在发生支座沉降、温度改变、制造误差，以及材料的收缩或徐变时，可能会产生内力。要看这些因素引起的变形是否受超静定结构多余约束的阻碍，如果有，一般各杆刚度绝对值增大，内力也随之增大；如果没有，可以自由变形，就不会引起内力。

例 8-21 （2011 年） 图 8-78 所示结构中哪根杆剪力最大？

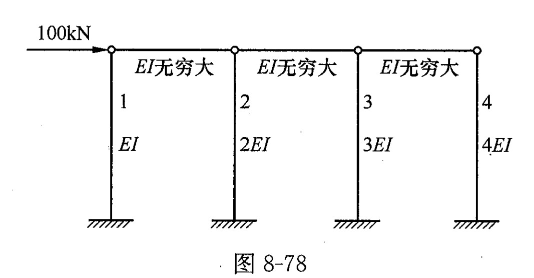


图 8-78

A 杆 1　　B 杆 2　　C 杆 3　　D 杆 4

提示： 此结构显然是一个超静定结构。100kN 的外力要按照各杆的刚度比来分配。1、2、3、4 各杆所受的外力分别是 10kN、20kN、30kN、40kN，显然杆 4 的内力最大，剪力也最大。

答案： D

例 8-22 （2008 年） 设图 8-79 所示结构建造时温度为 t，使用时外部温度降为 $-t$，内部温度仍为 t，则为减少温度变化引起的弯矩，正确的措施为：

A 减少 EI 值

B 增加 EI 值

C 减少 EA 值

D 增加 EA 值

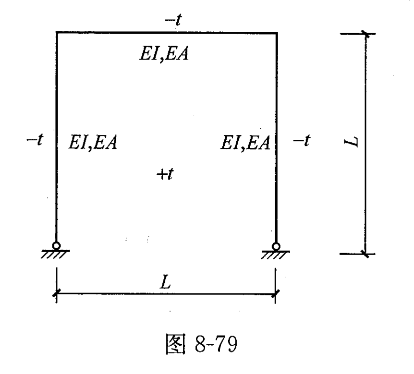


图 8-79

提示：图示结构两个固定铰链支座有 4 个支座反力，是超静定结构。为了减少温度变化引起的弯矩，应该减少各杆的抗弯刚度 EI 的绝对值。

答案：A

（二）优点

（1）防护能力强；

（2）内力和变形分布较均匀，内力和变形的峰值较小。

三、超静定次数的确定

超静定次数=多余约束（多余反力）的数目

确定方法：去掉结构的多余约束，使原结构变成一个静定的基本结构，则所去掉的约束（联系）的数目即为结构的超静定次数。

在结构上去掉多余约束的方法，通常有如下几种：

（1）切断一根链杆，或撤去一个支座链杆，相当于去掉一个联系（图 8-80 及图 8-81）。

（2）去掉一个固定铰或中间铰，相当于去掉两个联系（图 8-82）。

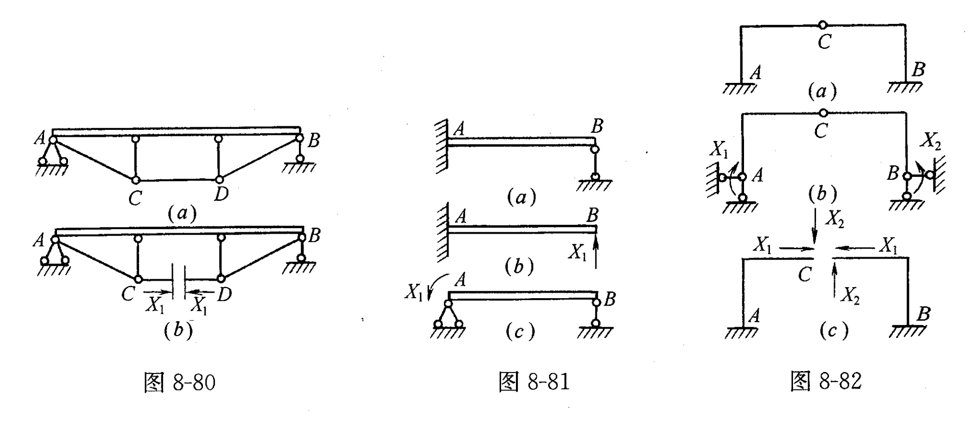


图 8-80　　图 8-81　　图 8-82

（3）将一刚接处切断，或者撤去一个固定支座，相当于去掉三个联系（图 8-83、图 8-84）。

（4）将一固定支座改成铰支座，或将受弯杆件某处改成铰接，相当于去掉一个联系（图 8-83）。

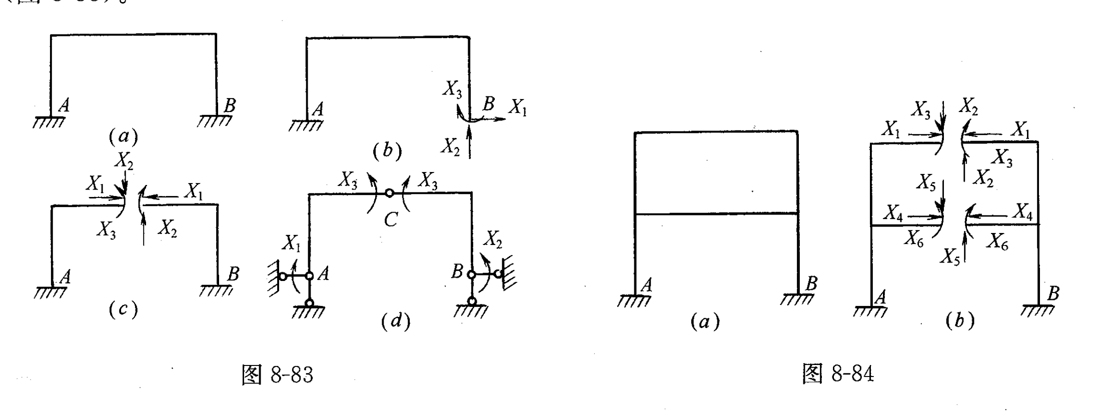


图 8-83　　图 8-84

四、用力法求解超静定结构

步骤：

（1）确定基本未知量——多余力的数目 n。

（2）去掉结构的多余联系得出一个静定的基本结构，并以多余力代替相应多余联系的作用。

（3）根据基本结构在多余力和原有荷载的共同作用下，在去掉多余联系处（B 点）的位移应与原结构中相应的位移相同的条件，建立力法典型方程：

$$
\begin{cases}
\Delta_1=\delta_{11}X_1+\delta_{12}X_2+\cdots\cdots+\Delta_{1P}=0 \\
\Delta_2=\delta_{21}X_1+\delta_{22}X_2+\cdots\cdots+\Delta_{2P}=0 \\
\cdots\cdots \\
\Delta_n=\delta_{n1}X_1+\delta_{n2}X_2+\cdots\cdots+\Delta_{nP}=0
\end{cases}
$$

式中　δ_{11}、δ_{21}、δ_{n1}分别表示当 $X_1=1$ 单独作用于基本结构时，B 点沿 X_1、X_2 和 X_n 方向的位移。

δ_{12}、δ_{22}、δ_{n2}分别表示当 $X_2=1$ 单独作用于基本结构时，B 点沿 X_1、X_2 和 X_n 方向的位移。

Δ_{1P}、Δ_{2P}、Δ_{nP}分别表示当荷载单独作用于基本结构时，B 点沿 X_1、X_2 和 X_n 方向的位移。

Δ_1、Δ_2、Δ_n 分别表示去掉多余联系处（B 点）沿 X_1、X_2、X_n 方向的总位移。

其中各系数和自由项都为基本结构的位移，因而可用图乘法求得，如：

$$\delta_{11}=\frac{1}{EI}\int_L \overline{M_1}\,\overline{M_1}\mathrm{d}x$$

$$\delta_{12}=\delta_{21}=\frac{1}{EI}\int_L \overline{M_1}\,\overline{M_2}\mathrm{d}x$$

$$\delta_{22}=\frac{1}{EI}\int_L \overline{M_2}\,\overline{M_2}\mathrm{d}x$$

$$\Delta_{1P}=\frac{1}{EI}\int_L \overline{M_1}\,M_P\mathrm{d}x$$

$$\Delta_{2P}=\frac{1}{EI}\int_L \overline{M_2}\,M_P\mathrm{d}x,\cdots\cdots$$

为此，需要做出基本结构的单位内力图$\overline{M_1}$、$\overline{M_2}$……和荷载内力图 M_P。

（4）解典型方程，求出各多余力。

（5）多余力确定后，即可按分析静定结构的方法，给出原结构的内力图（最后内力图），按叠加原理：$M=X_1\overline{M_1}+X_2\overline{M_2}+\cdots\cdots M_P$。

图 8-85(*a*) 所示梁超静定次数 $n=1$，力法典型方程：

$$\Delta_1=\delta_{11}X_1+\Delta_{1P}=0$$

图 8-85(*c*)中　$$\Delta_{11}=\delta_{11}X_1$$

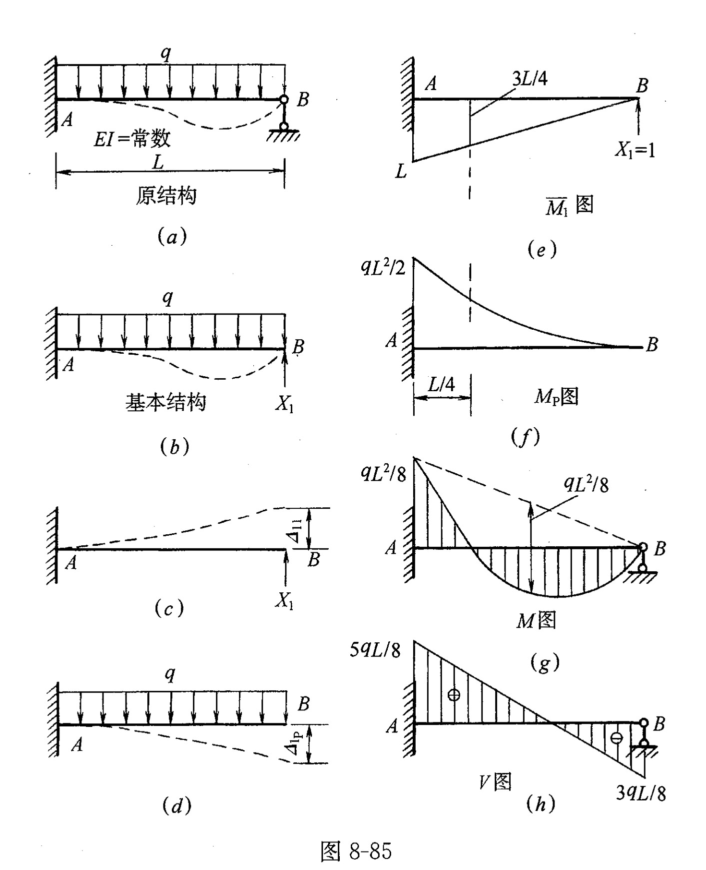


图 8-85

式中

$$\delta_{11}=\frac{1}{EI}\cdot\frac{L^2}{2}\cdot\frac{2}{3}L=\frac{L^3}{3EI}$$

$$\Delta_{1P}=-\frac{1}{EI}\left(\frac{1}{3}\cdot L\frac{qL^2}{2}\right)\cdot\frac{3}{4}L=-\frac{qL^4}{8EI}$$

所以

$$X_1=-\frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}}=\frac{qL^4}{8EI}\cdot\frac{3EI}{L^3}=\frac{3}{8}qL$$

而

$$M_A=X_1\overline{M}_1+M_P=X_1L-\frac{qL^2}{2}=\frac{3}{8}qL^2-\frac{qL^2}{2}=-\frac{1}{8}qL^2$$

例 8-23 图 8-86 所示。

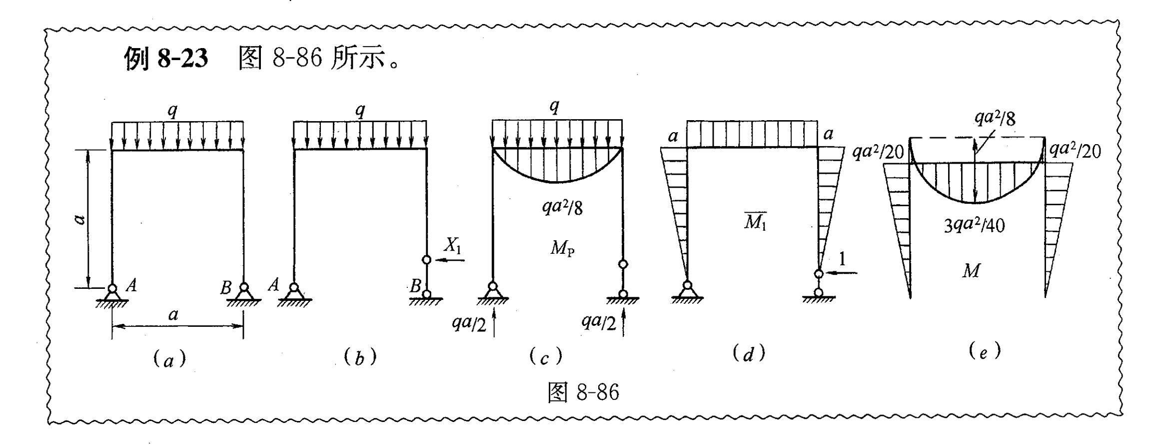


图 8-86

超静定次数 $n=1$

力法方程：

$$\Delta_1=\delta_{11}X_1+\Delta_{1P}=0$$

因为 $\delta_{11}=\frac{1}{EI}\int_L \overline{M}_1\overline{M}_1\mathrm{d}x=\frac{2}{EI}\frac{a^2}{2}\frac{2}{3}a+\frac{1}{EI}a^2\cdot a=\frac{5a^3}{3EI}$

$$\Delta_{1P}=\frac{1}{EI}\int_L \overline{M}_1M_P\mathrm{d}x=\frac{-1}{EI}\left(\frac{2}{3}a\frac{qa^2}{8}\right)a=-\frac{qa^4}{12EI}$$

所以 $\Delta_1=\frac{5a^3}{3EI}X_1-\frac{qa^4}{12EI}=0$

$$X_1=\frac{qa}{20}$$

$$M=X_1\overline{M}_1+M_P$$

五、利用对称性求解超静定结构

图 8-87(a)、(b)对称结构受正对称荷载作用。

图 8-87(c)、(d)对称结构受反对称荷载作用。

不难发现，对称结构在正对称荷载作用下，其内力和位移都是正对称的，且在对称轴上反对称的多余力为零；对称结构在反对称荷载作用下，其内力和位移都是反对称的，且在对称轴上对称的多余力为零。注意：轴力和弯矩是对称内力，剪力是反对称内力。

实际上，如果结构对称、荷载对称，则轴力图、弯矩图对称，剪力图反对称，在对称轴上剪力为零。如果结构对称、荷载反对称，则轴力图、弯矩图反对称，剪力图对称，在对称轴上轴力、弯矩均为零。

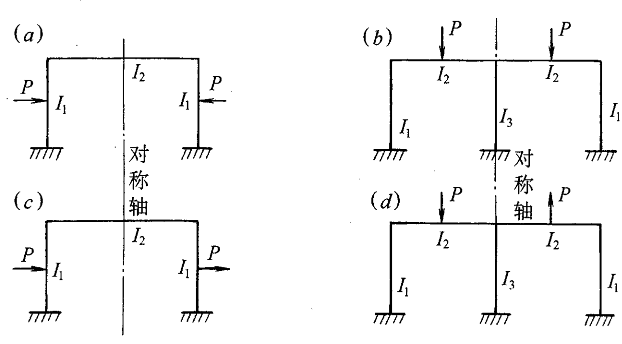


图 8-87

图 8-88（a）所示为 3 次超静定结构。依对称性取一半为研究对象，如图8-88（b）所示，其中反对称力 $X_2=0$。

用 Δ_1 表示切口两边截面的水平相对线位移，Δ_2 表示其铅垂相对线位移，Δ_3 表示其相对转角，由于 $X_2=0$，则力法方程化简为 $\begin{cases}\Delta_1=\delta_{11}X_1+\delta_{13}X_3+\Delta_{1P}=0\\ \Delta_3=\delta_{31}X_1+\delta_{33}X_3+\Delta_{3P}=0\end{cases}$

由图 8-88(c)、(d)、(e)所示 M_P、$\overline{M}_1$、$\overline{M}_3$ 的图形，可得：

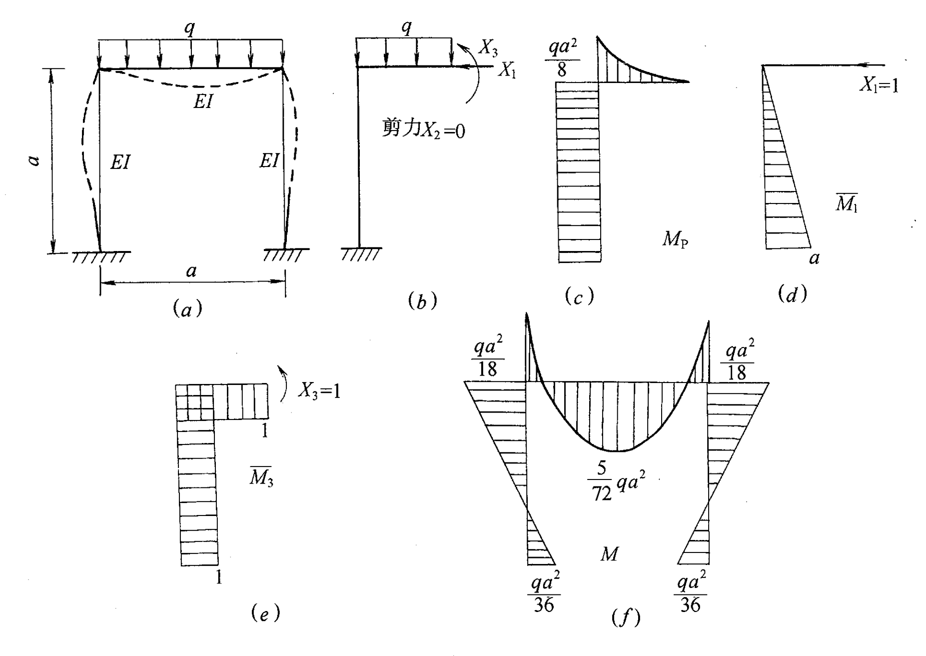


图 8-88

$$\delta_{11}=\frac{1}{EI}\frac{a^2}{2}\frac{2}{3}a=\frac{a^3}{3EI}$$

$$\delta_{33}=\frac{1}{EI}\left(\frac{a}{2}\times1\times1+a\times1\times1\right)=\frac{3a}{2EI}$$

$$\delta_{13}=\delta_{31}=\frac{1}{EI}\cdot\frac{a^2}{2}\cdot1=\frac{a^2}{2EI}$$

$$\Delta_{1P}=-\frac{1}{EI}\cdot\frac{a^2}{2}\cdot\frac{qa^2}{8}=-\frac{qa^4}{16EI}$$

$$\Delta_{3P}=-\frac{1}{EI}\left(\frac{1}{3}\frac{a}{2}\frac{qa^2}{8}\cdot1+\frac{qa^2}{8}\cdot a\cdot1\right)=-\frac{7qa^3}{48EI}$$

代回力法方程，得$\begin{cases}\dfrac{a^3}{3EI}X_1+\dfrac{a^2}{2EI}X_3-\dfrac{qa^4}{16EI}=0\\ \dfrac{a^2}{2EI}X_1+\dfrac{3a}{2EI}X_3-\dfrac{7qa^3}{48EI}=0\end{cases}$

解出　$X_1=\frac{qa}{12}$，$X_3=\frac{5}{72}qa^2$

由 $M(x)=M_P+X_1\overline{M}_1+X_3\overline{M}_3$ 可得到最后弯矩图 M，如图 8-88(f)所示；根据荷载图与弯矩图可知位移变形图，如图 8-88(a)中虚线所示。

图 8-89(a)原为 3 次超静定结构，但可把它分解成图 8-89(b)和图 8-89(c)的叠加。而图 8-89(b)不产生弯矩，所以图 8-89(a)的弯矩与图 8-89(c)相同。利用图 8-89(c)的反对称性，把它从对称轴切断，则对称内力 $X_1=0$，$X_3=0$，力法方程化简为一次：

$$\Delta_2=\delta_{22}X_2+\Delta_{2P}=0$$

取左半部分计算：$\delta_{22}=\frac{1}{EI}\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{a}{2}\cdot\frac{a}{2}\cdot\frac{a}{3}+\frac{a}{2}\cdot a\cdot\frac{a}{2}\right)=\frac{7a^3}{24EI}$

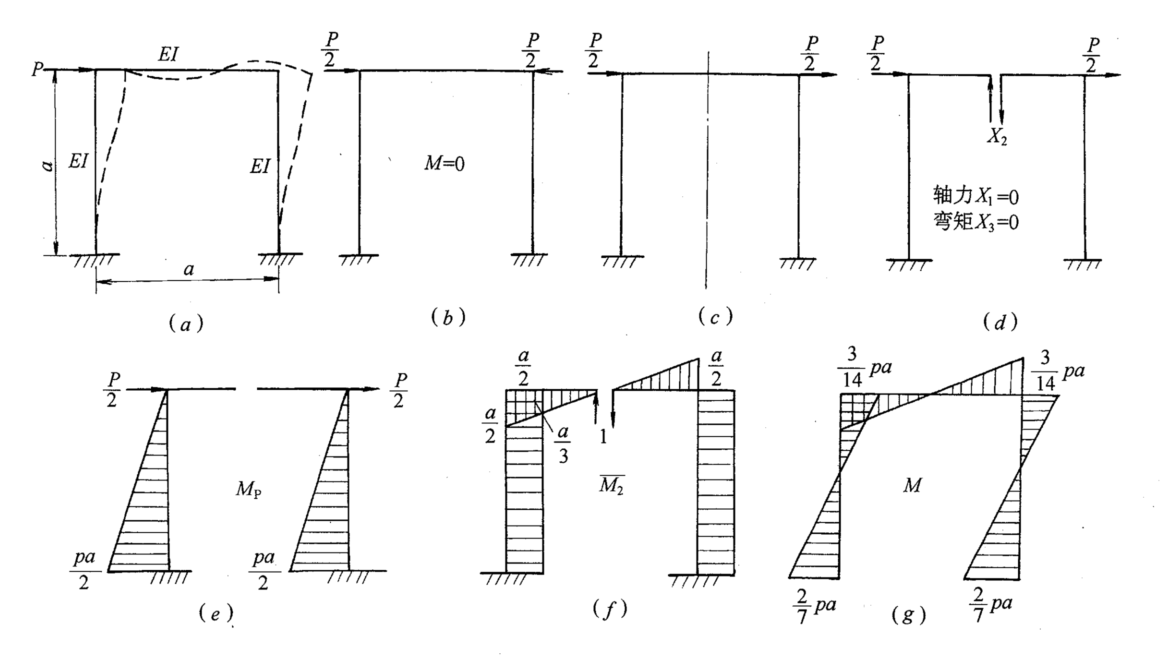


图 8-89

$$\Delta_{2P}=-\frac{1}{EI}\left(\frac{1}{2}a\cdot\frac{Pa}{2}\right)\frac{a}{2}=-\frac{Pa^3}{8EI}$$

代回力法方程，可得 $X_2=\frac{3}{7}P$。

利用 $M=M_P+X_2\overline{M}_2$ 画出弯矩图 8-89(g)，其中右半部分可利用反对称性画出。根据荷载图与弯矩图可知位移变形图如图 8-89(a)中虚线所示。

奇数跨和偶数跨两种对称刚架的简化。

图 8-90(a)中 C 截面不会发生转角和水平线位移，但可发生竖向线位移；同时在 C 面

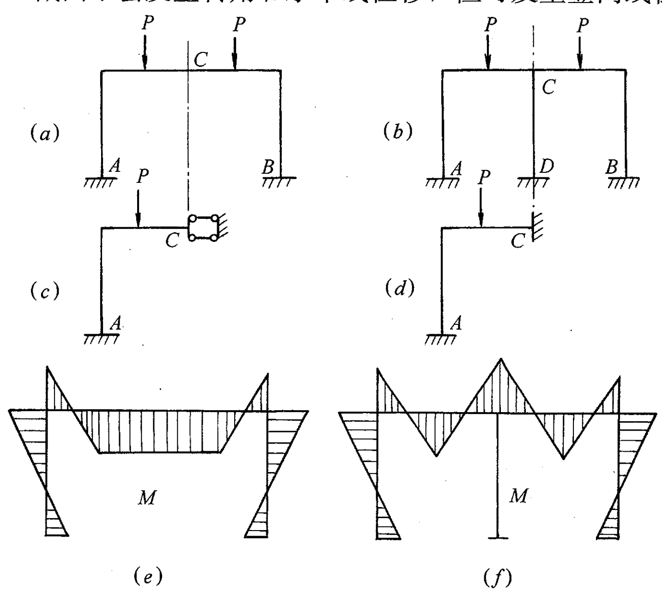


图 8-90

上将有弯矩和轴力，但无剪力。故可用图 8-90(c)中 C 处的定向支撑来代替。

图 8-90(b)中 CD 杆只有轴力和轴向变形(否则不对称)。

在刚架分析中，一般忽略轴力的影响，所以 C 点将无任何位移发生。

故可用图 8-90(d)中 C 处的固定支座来代替。

图 8-90(a)、(b)的弯矩图的大致形状如图 8-90(e)、(f)所示。

六、多跨超静定连续梁的活载布置

多跨超静定连续梁在均布荷载作用下的弯矩和位移如图 8-91 所示。

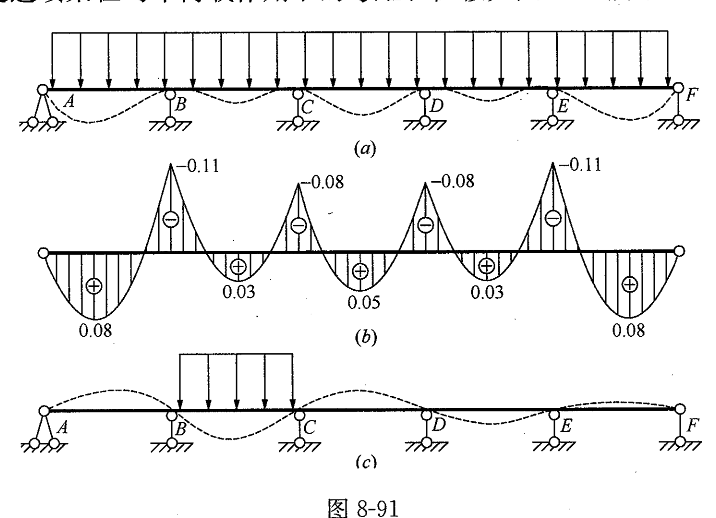


图 8-91

应用结构力学的影响线理论，可以找到多跨超静定连续梁相应内力量值的最不利荷载位置。我们以图 8-92(a)所示五跨连续梁有关弯矩的最不利活载的布置为例，说明其规律性。

(1) 从图 8-92(b)、(c)中可知：求某跨跨中附近的最大正弯矩时，应在该跨布满活载，其余每隔一跨布满活载。

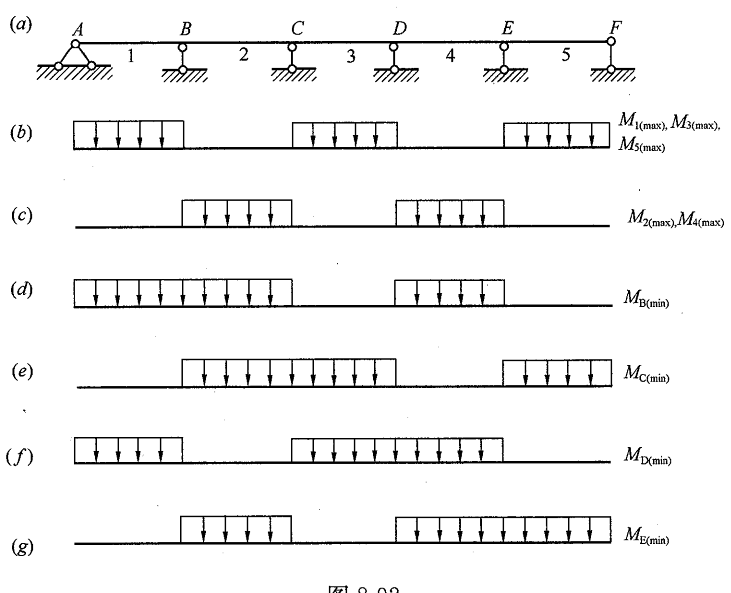


图 8-92

（2）从图 8-92(*d*)、(*e*)、(*f*)、(*g*)中可知：求某支座的最大负弯矩及支座截面最大剪力时，应在该支座相邻两跨布满活载，其余每隔一跨布满活载（特殊结构除外）。掌握上述规律后，对于有关多跨连续梁的相应问题，就可以迎刃而解了。

对于不同的超静定结构，有时使用位移法和力矩分配法也很方便。由于篇幅所限，兹不赘述。

第六节　压　杆　稳　定

轴向拉压杆组成的桁架结构在建筑物和桥梁中有着广泛的应用。19 世纪末以来，单纯的强度计算已不能满足工程中压杆设计的需要，压杆稳定问题日益显得重要。所谓压杆稳定是指中心受压直杆直线平衡的状态在微小外力干扰去除后自我恢复的能力。压杆失稳是指压杆在轴向压力作用下不能维持直线平衡状态而突然变弯的现象。压杆的临界力 F_{cr} 是使压杆直线形式的平衡由稳定开始转化为不稳定的最小轴向压力。也可以说，临界力 F_{cr} 是压杆保持直线形式的稳定平衡所能够承受的最大荷载。

不同杆端约束下细长中心受压直杆的临界力表达式，可通过平衡或类比的方法推出。本节给出几种典型的理想支承约束条件下，细长中心受压直杆的欧拉公式表达式（表 8-4）。

各种支承约束条件下等截面细长压杆临界力的欧拉公式　　　　表 8-4

支端情况	两端铰支	一端固定另端铰支	两端固定	一端固定另端自由	两端固定但可沿横向相对移动
失稳时挠曲线形状	F_{cr}；B；A；l	F_{cr}；B；C；A；l；$0.7l$；C—挠曲线拐点	F_{cr}；B；D；C；A；l；$0.5l$；C、D—挠曲线拐点	F_{cr}；l；$2l$	F_{cr}；C；l；$\frac{l}{2}$；C—挠曲线拐点
临界力 F_{cr} 欧拉公式	$F_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{l^2}$	$F_{cr}\approx\frac{\pi^2 EI}{(0.7l)^2}$	$F_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{(0.5l)^2}$	$F_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{(2l)^2}$	$F_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{l^2}$
长度因数 μ	$\mu=1$	$\mu\approx0.7$	$\mu=0.5$	$\mu=2$	$\mu=1$

由表 8-4 所给的结果可以看出，中心受压直杆的临界力 F_{cr} 受到杆端约束情况的影响。杆端约束越强，杆的抗弯能力就越大，其临界力也越高。对于各种杆端约束情况，细长中心受压等直杆临界力的欧拉公式可写成统一的形式

$$F_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2} \tag{8-27}$$

式中，EI 为杆的抗弯刚度。因数 μ 为压杆的**长度因数**，与杆端的约束情况有关。μl 为原压杆的**相当长度**，其物理意义可从表 8-4 中各种杆端约束下细长压杆失稳时挠曲线形状的比拟来说明：由于压杆失稳时挠曲线上拐点处的弯矩为零，故可设想拐点处有一铰，而将压杆在挠曲线两拐点间的一段看作为两端铰支压杆，并利用两端铰支压杆临界力的欧拉公

式（式 8-27），得到原支承条件下压杆的临界力 F_{cr}。这两拐点之间的长度，即为原压杆的相当长度 μl。或者说，相当长度为各种支承条件下的细长压杆失稳时，挠曲线中相当于半波正弦曲线的一段长度。

应当注意，细长压杆临界力的欧拉公式（式 8-27）中，I 是横截面对某一形心主惯性轴的惯性矩。若杆端在各个方向的约束情况相同（如球形铰等），则 I 应取最小的形心主惯性矩。若杆端在不同方向的约束情况不同（如柱形铰），则 I 应取挠曲时横截面对其中性轴的惯性矩。在工程实际问题中，支承约束程度与理想的支承约束条件总有所差异，因此，其长度因数 μ 值应根据实际支承的约束程度，以表 8-4 作为参考加以选取。在有关的设计规范中，对各种压杆的 μ 值多有具体的规定。

例 8-24 （2011 年） 对于相同材料的等截面轴心受压杆件，在图 8-93 中的三种情况下，其承载能力 P_1、P_2、P_3 的比较结果为：

A $P_1=P_2<P_3$　　B $P_1=P_2>P_3$

C $P_1>P_2>P_3$　　D $P_1<P_2<P_3$

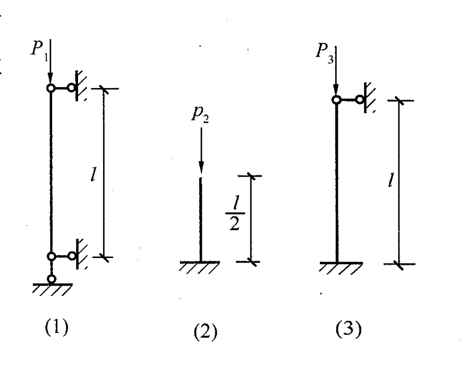


图 8-93

提示： 图中杆 1 的相当长度为 $1\times l=l$；

杆 2 的相当长度为 $2\times\frac{l}{2}=l$；

杆 3 的相当长度为 $0.7l$。

由公式 $F_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2}$ 可知，当 EI 相同时，μl 越小，F_{cr} 越大，故杆 3 的临界力 P_3 最大，而杆 1 和杆 2 的临界力 $P_1=P_2$。

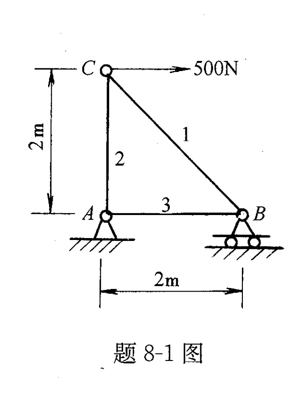
答案： A

习　　题

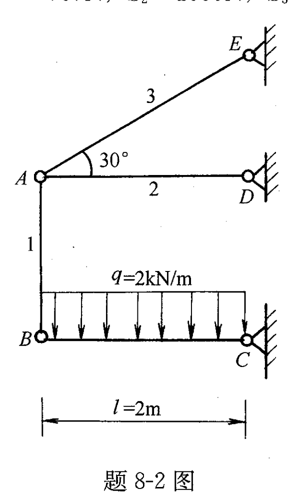
8-1　图示桁架杆 1、杆 2、杆 3 所受的力为(　　)。

A $S_1=-707\text{N}$，$S_2=500\text{N}$，$S_3=500\text{N}$　　B $S_1=707\text{N}$，$S_2=-500\text{N}$，$S_3=-500\text{N}$

C $S_1=1414\text{N}$，$S_2=500\text{N}$，$S_3=1000\text{N}$　　D $S_1=-707\text{N}$，$S_2=1000\text{N}$，$S_3=500\text{N}$



题 8-1 图



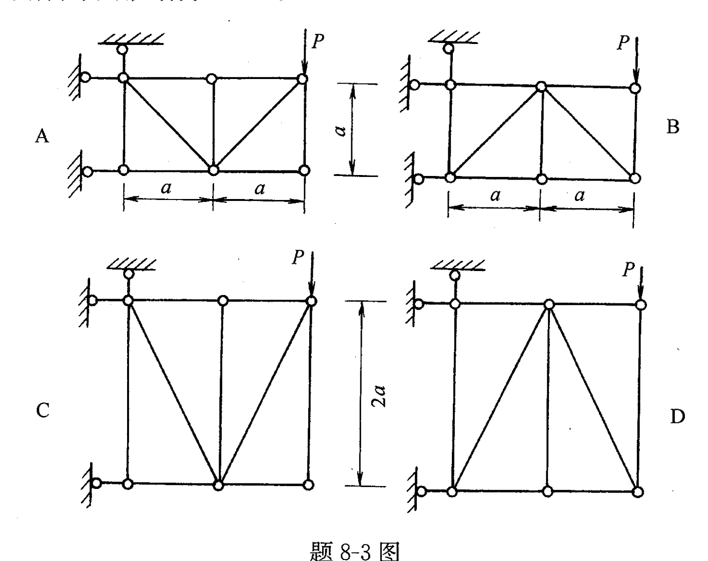
题 8-2 图

8-2　图示桁架杆 1、杆 2、杆 3 所受的力为(　　)。

A　$S_1=4\text{kN}$，$S_2=-6.928\text{kN}$，$S_3=8\text{kN}$　　B　$S_1=2\text{kN}$，$S_2=-3.464\text{kN}$，$S_3=4\text{kN}$

C　$S_1=-4\text{kN}$，$S_2=6.928\text{kN}$，$S_3=-8\text{kN}$　　D　$S_1=-2\text{kN}$，$S_2=3.464\text{kN}$，$S_3=-4\text{kN}$

8-3　图示桁架中上弦杆拉力最大者为(　　)。



题 8-3 图

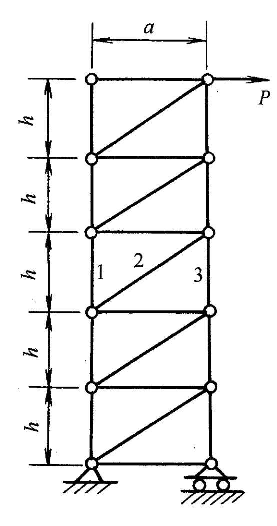
8-4　图示桁架 P、a、h 已知，则 1、2、3 杆内力为(　　)。

A　$S_1=3\dfrac{h}{a}P$，$S_2=\dfrac{h}{a}P$，$S_3=2\dfrac{h}{a}P$

B　$S_1=5\dfrac{h}{a}P$，$S_2=3\dfrac{h}{a}P$，$S_3=-3\dfrac{h}{a}P$

C　$S_1=-2\dfrac{h}{a}P$，$S_2=\dfrac{\sqrt{a^2+h^2}}{a}P$，$S_3=3\dfrac{h}{a}P$

D　$S_1=2\dfrac{h}{a}P$，$S_2=\dfrac{\sqrt{a^2+h^2}}{a}P$，$S_3=-3\dfrac{h}{a}P$



题 8-4 图

8-5　图示桁架已知 P，a，则 1，2，3，4 杆受力为(　　)。

A　$S_1=-9P$，$S_2=0$，$S_3=1.414P$，$S_4=8P$

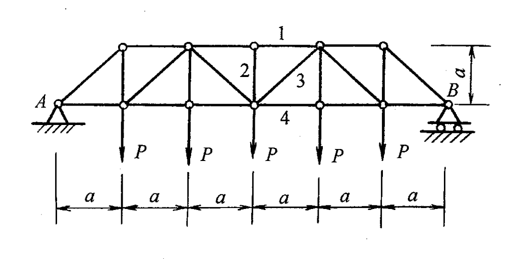
B　$S_1=9P$，$S_2=0$，$S_3=-1.414P$，$S_4=-8P$

C　$S_1=-4.5P$，$S_2=0$，$S_3=0.707P$，$S_4=4P$

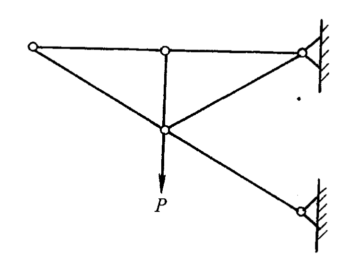
D　$S_1=4.5P$，$S_2=0$，$S_3=-0.707P$，$S_4=-4P$

8-6　图示桁架中零杆的个数是(　　)。

A　1　　　B　2　　　C　3　　　D　4



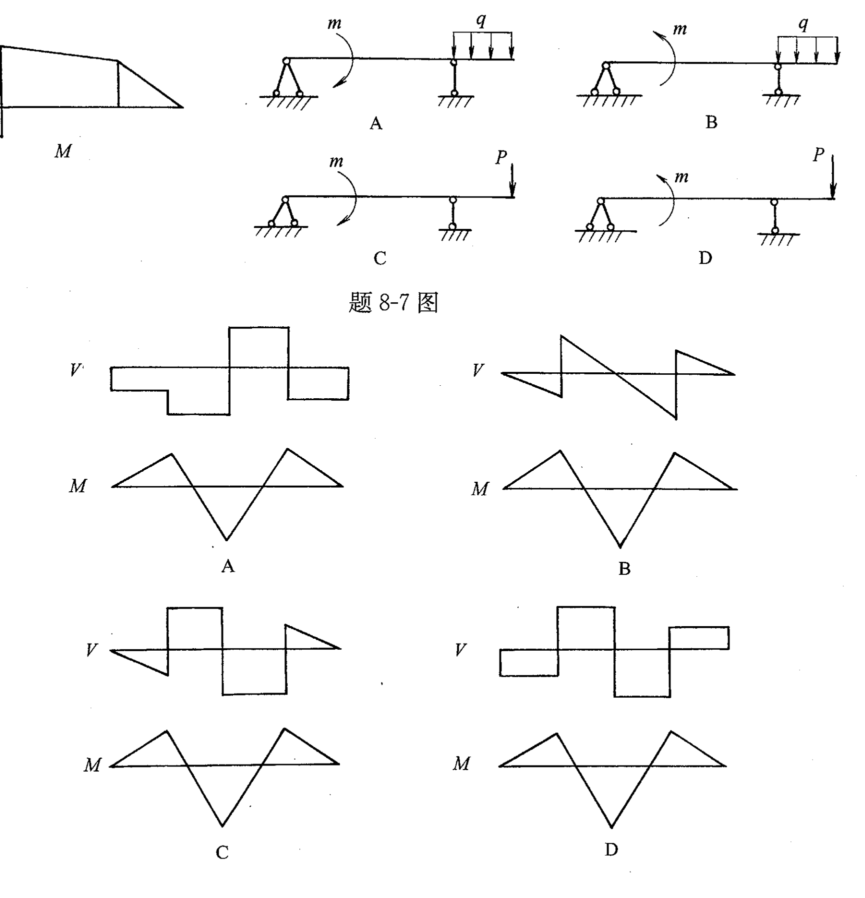
题 8-5 图



题 8-6 图

8-7　下列四个静定梁的荷载图中，(　　)可能产生图示弯矩图。

8-8　下图所示的四对弯矩图和剪力图中，(　　)是可能同时出现的。



题 8-7 图

题 8-8 图

8-9　梁上无集中力偶作用，剪力图如图示，则梁上的最大弯矩为(　　)。

A　$4qa^2$　　B　$-\frac{7}{2}qa^2$

C　$2qa^2$　　D　$-3qa^2$

题 8-9 图

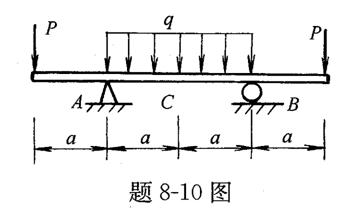
8-10　若梁的荷载及支承情况对称于梁的中央截面 C 如图所示，则下列结论中(　　)是正确的。

A　V 图对称，M 图对称，且 $V_C=0$

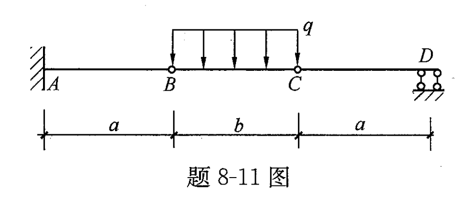
B　V 图对称，M 图反对称，且 $M_C=0$

C　V 图反对称，M 图对称，且 $V_C=0$

D　V 图反对称，M 图反对称，且 $M_C=0$



题 8-10 图



题 8-11 图

8-11 若使图示梁弯矩图上下最大值相等，应使(　　)。

A $a=b/4$　　B $a=b/2$　　C $a=b$　　D $a=2b$

8-12 图示四种截面的面积相同，则扭转剪应力最小的是(　　)。

A　B　C　D

题 8-12 图

8-13 已知梁的荷载作用在铅垂纵向对称面内，图示四种截面的面积相同，则最合理的截面是(　　)。

A　B　C　D

题 8-13 图

8-14 图示正方形截面木梁，用两根木料拼成，两根木料之间无联系，也无摩擦力，则图（a）中的最大正应力与图（b）中的最大正应力之比为(　　)。

A 1∶1

B 1∶4

C 1∶2

D 2∶1

a　a　$2a$　a　a

(a)　(b)

题 8-14 图

8-15 设工字形截面梁的截面面积和截面高度固定不变，下列四种截面设计中，受剪承载能力最大者为(　　)。

A 翼缘宽度确定后，腹板厚度尽可能薄

B 翼缘宽度确定后，翼缘厚度尽可能薄

C 翼缘厚度确定后，翼缘宽度尽可能大

D 翼缘厚度确定后，腹板厚度尽可能薄

8-16 图示矩形对其底边 z 轴的惯性矩为(　　)。

A $\frac{bh^3}{3}$　　B $\frac{bh^3}{6}$　　C $\frac{bh^3}{12}$　　D $\frac{bh^3}{16}$

h　z　b

题 8-16 图

8-17 图示刚架中有错的弯矩图有(　　)。

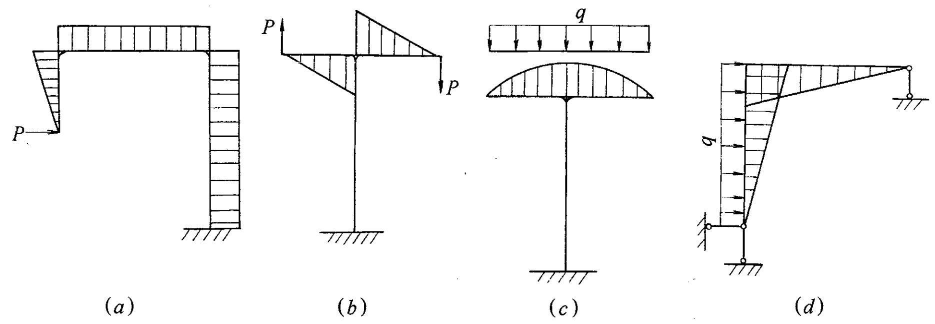
A 1个　　B 2个　　C 3个　　D 4个

8-18 图示结构中有错的弯矩图有(　　)。

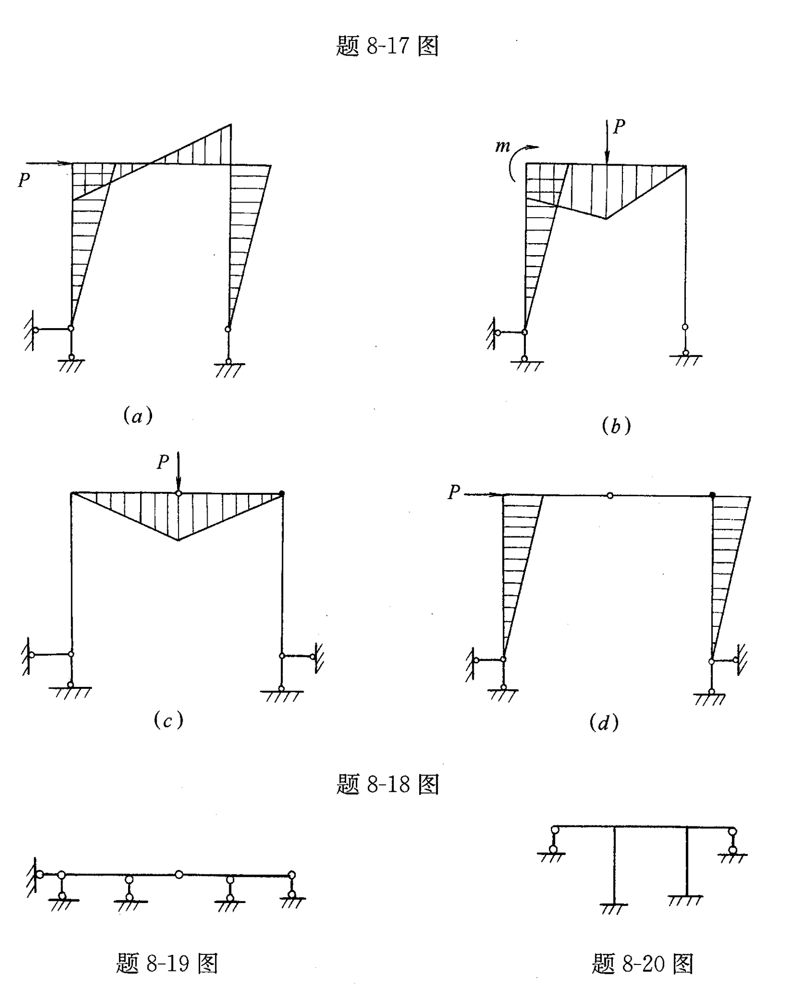
A 1个　　B 2个　　C 3个　　D 4个

8-19 图示结构为(　　)结构。

A 几何可变　　B 静定　　C 一次超静定　　D 二次超静定



题 8-17 图



题 8-18 图

题 8-19 图

题 8-20 图

8-20 图示结构为(　　)超静定结构。

A 3次　　B 4次　　C 5次　　D 6次

8-21 图示结构为(　　)超静定结构。

A 3次　　B 4次　　C 5次　　D 6次

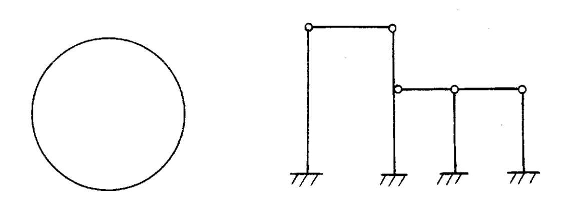
8-22 图示结构为(　　)超静定结构。

A 3次　　B 4次　　C 5次　　D 6次

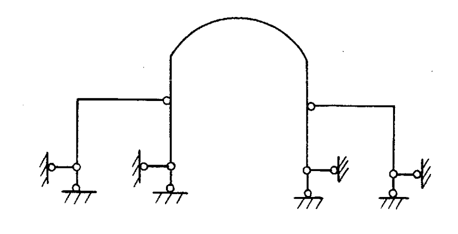
8-23 图示结构为(　　)超静定结构。

A 3次　　B 4次　　C 5次　　D 6次

题 8-21 图



题 8-22 图　　　　题 8-23 图

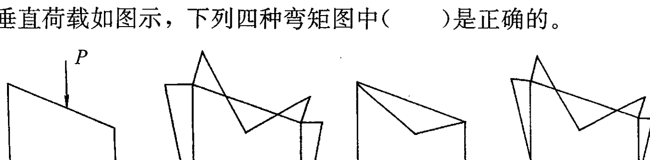


题 8-24 图

8-24　图示结构为(　　)超静定结构。

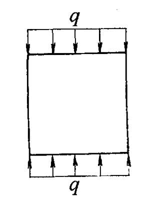
A　2 次　　　　B　3 次　　　　C　4 次　　　　D　5 次

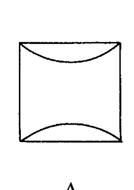
8-25　刚架受垂直荷载如图示，下列四种弯矩图中(　　)是正确的。



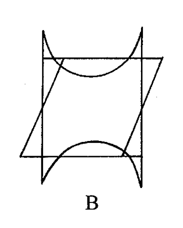
题 8-25 图

8-26　图示刚架正确的弯矩图应是(　　)。

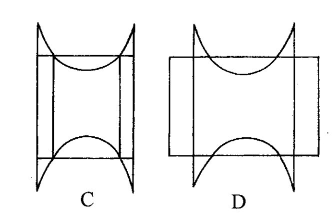




A



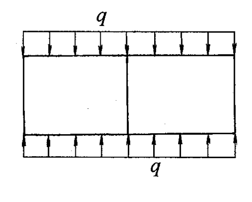
B

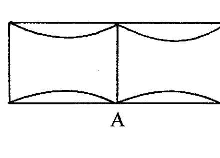


C　　D

题 8-26 图

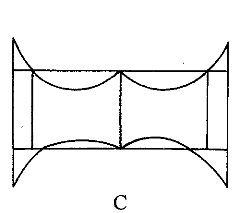
8-27　图示双跨结构正确的弯矩图应是(　　)。





A

B

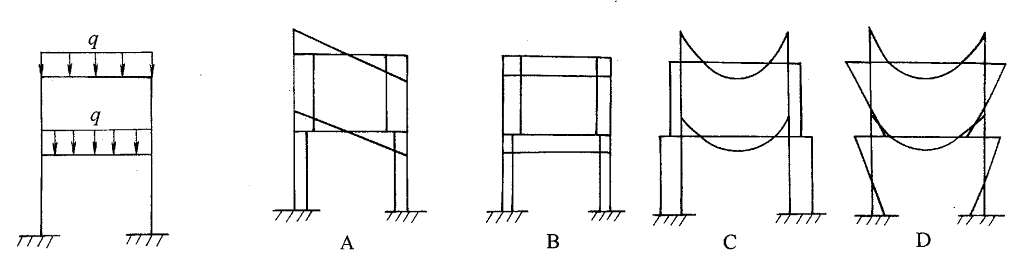


C

D

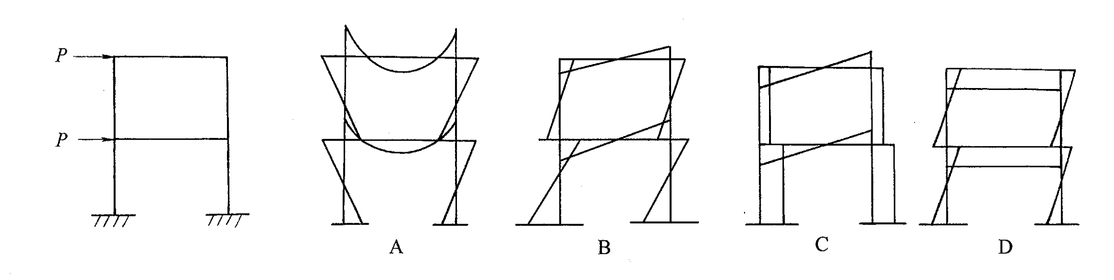
题 8-27 图

8-28　图示二层框架在垂直荷载作用下的各弯矩图(　　)为正确的。



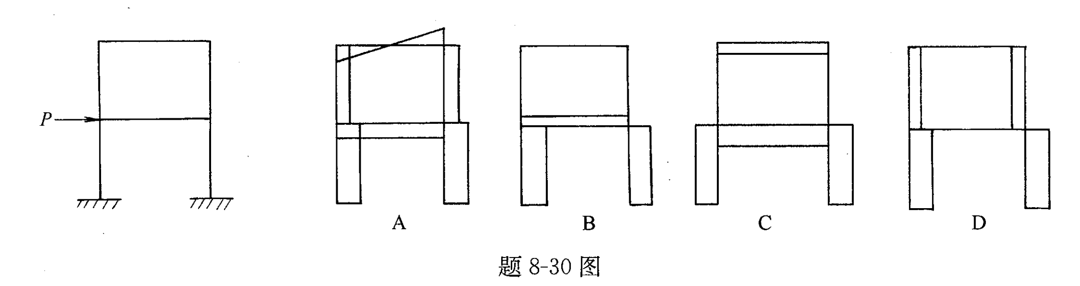
题 8-28 图

8-29　图示二层框架在水平荷载作用下的各弯矩图中(　　)为正确的。



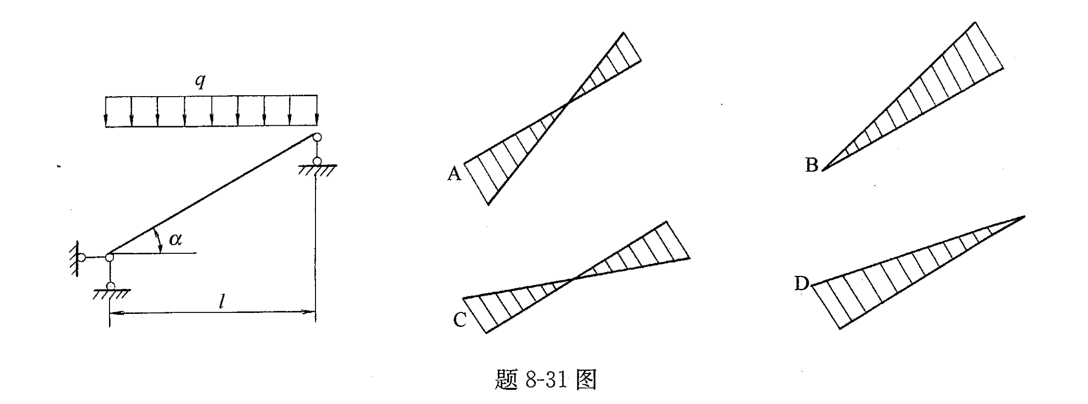
题 8-29 图

8-30　图示二层框架在水平荷载作用下的各剪力图中(　　)为正确的。



题 8-30 图

8-31　斜梁 AB 承受荷载如图所示，哪一个是正确的剪力图？(　　)



题 8-31 图

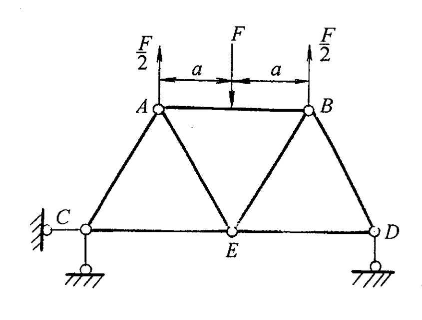
8-32　图示结构承受一组平衡力系作用，下列哪种论述是正确的？（　　）

A　各杆内力均不为 0

B　各杆内力均为 0

C　仅 AB 杆内力不为 0

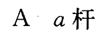
D　仅 AB 杆内力为 0



题 8-32 图

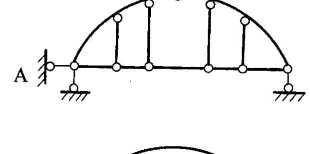
8-33　图示哪一种结构不属于拱结构？（　　）

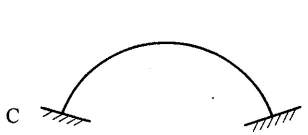
8-34　图示结构 a、b、c、d 杆中哪一根破坏后，结构变成几何可变体系？（　　）

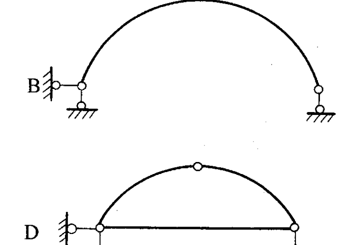


A　a 杆　　B　b 杆

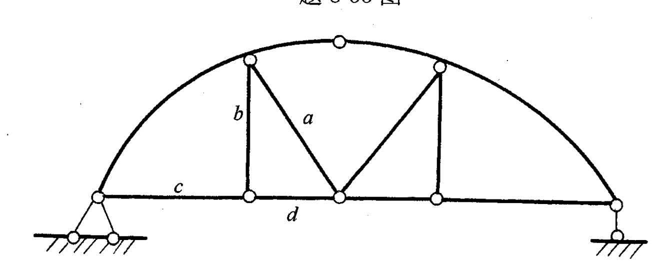
C　c 杆　　D　d 杆







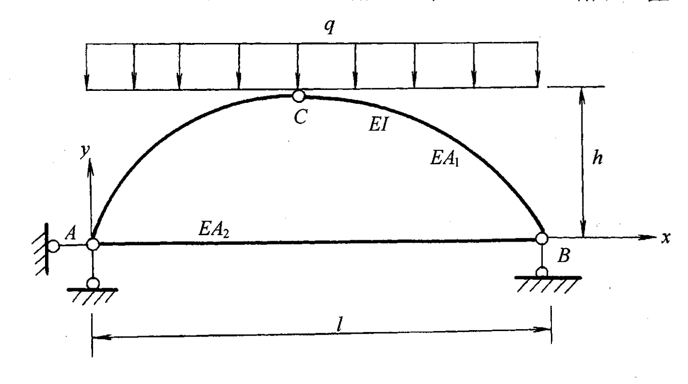
题 8-33 图



题 8-34 图

8-35　图示拱具有合理拱轴线，哪一种措施对于减少 C 点的竖向位移是无效的？（　　）

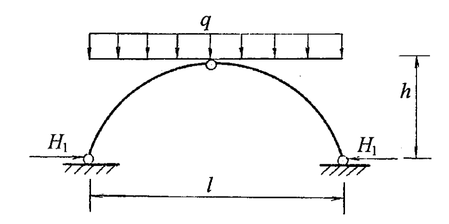
A　增加 A_1 值　　B　增加 I 值　　C　增加 A_2 值　　D　增加 E 值

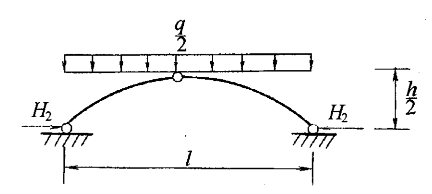


题 8-35 图

8-36　图示两种三铰拱结构的水平推力有哪种关系？(　　)

A　$H_1=H_2$　　　B　不能确定　　　C　$H_1>H_2$　　　D　$H_1<H_2$



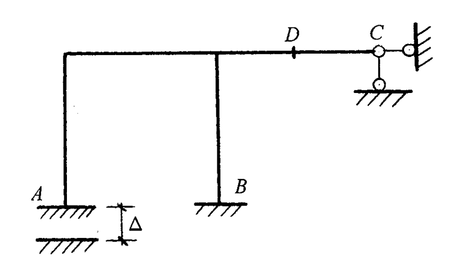


题 8-36 图

8-37　刚架的支座 A 产生沉陷 Δ，D 点有哪一种位移？(　　)

A　向上的位移　　　B　向下的位移

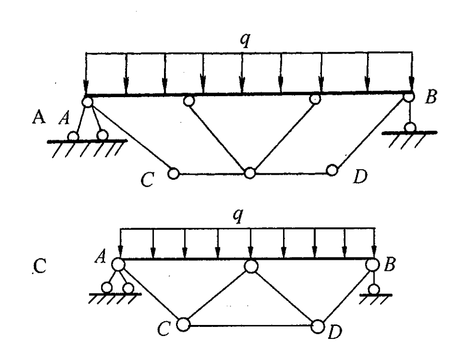
C　向左的位移　　　D　向右的位移

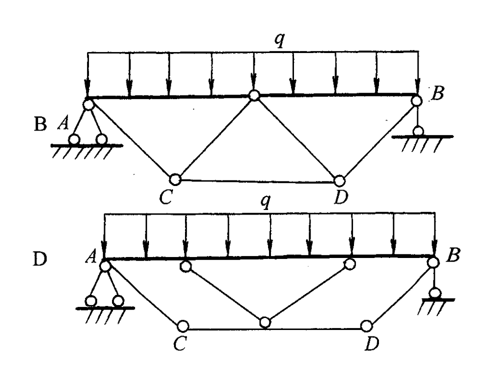


题 8-37 图

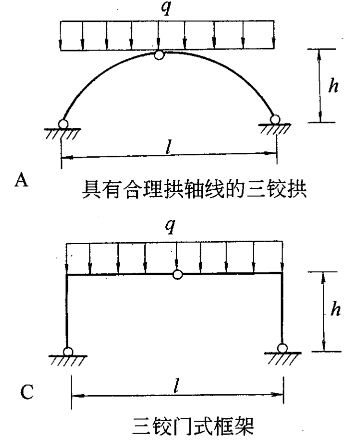
8-38　图示结构中，所有杆件的 EA 和 EI 值均相同，哪一种结构的 AB 杆的弯矩最大？(　　)

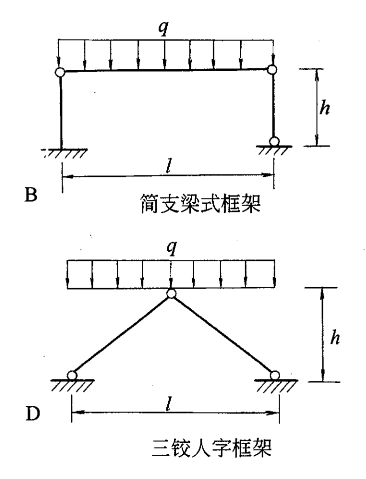
8-39　图示 4 种结构中假定各杆件截面一样，跨度和荷载一样，问哪种结构的跨中挠度最大？(　　)





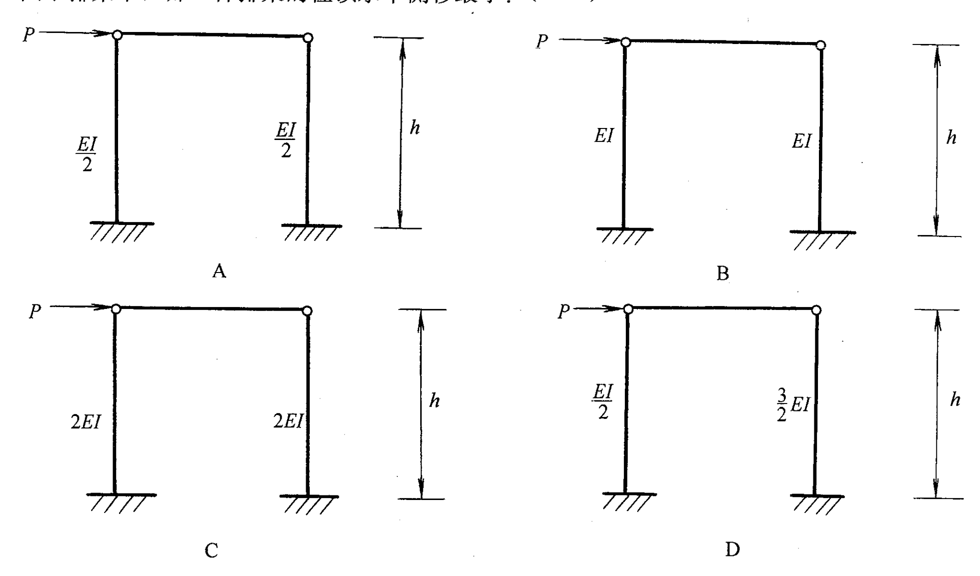
题 8-38 图





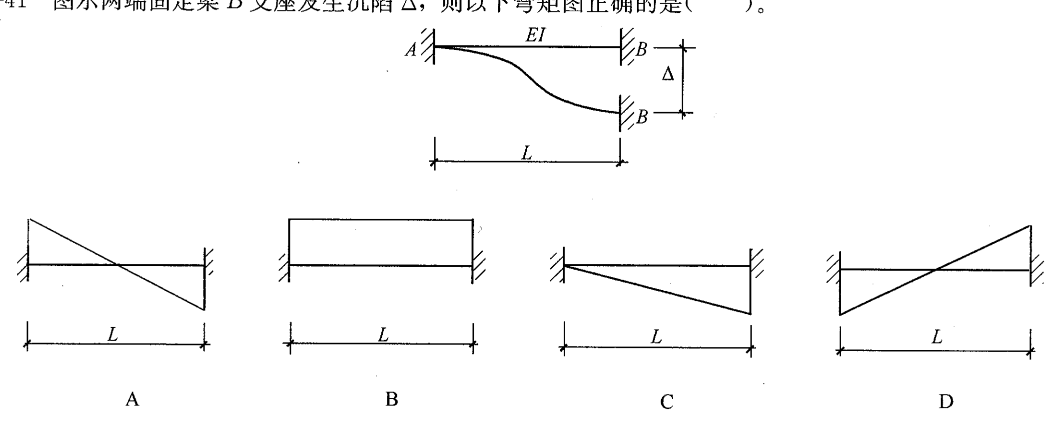
题 8-39 图

8-40　图示排架中，哪一种排架的柱顶水平侧移最小？(　　)



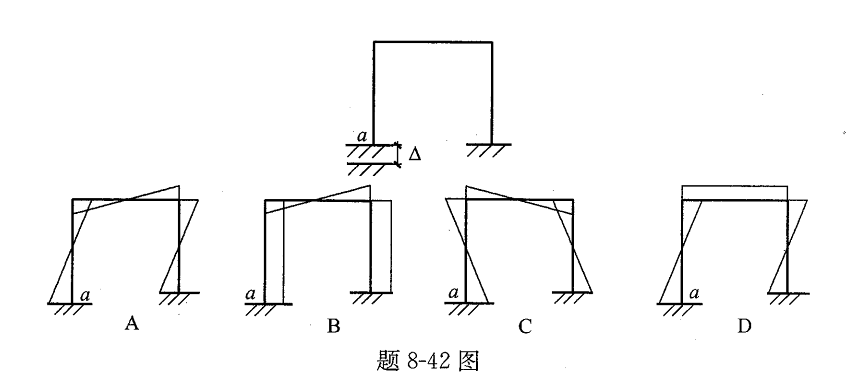
题 8-40 图

8-41　图示两端固定梁 B 支座发生沉陷 Δ，则以下弯矩图正确的是(　　)。



题 8-41 图

8-42　刚架的支座 a 产生沉陷 Δ，则下列弯矩图，正确的是(　　)。



题 8-42 图

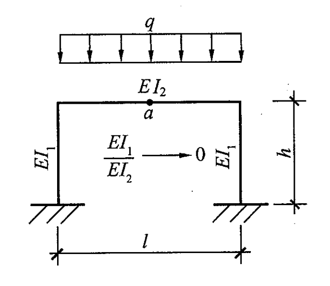
8-43 图示结构跨中点 a 处的弯矩最接近下列何值？(　　)

A $M_a=\frac{1}{8}ql^2$　　B $M_a=\frac{1}{4}ql^2$　　C $M_a=\frac{1}{24}ql^2$　　D $M_a=\frac{1}{2}ql^2$

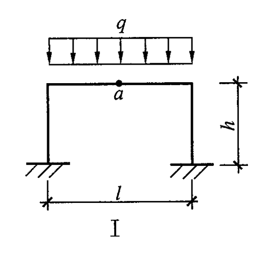
8-44 图示结构Ⅰ和Ⅱ除支座外其余条件均相同，则(　　)。

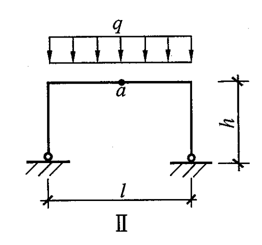
A $M_a^{\mathrm{I}}=M_a^{\mathrm{II}}$　　B $M_a^{\mathrm{I}}>M_a^{\mathrm{II}}$

C $M_a^{\mathrm{I}}<M_a^{\mathrm{II}}$　　D 不能确定 M_a^{I} 及 M_a^{II} 的相对大小



题 8-43 图





题 8-44 图

8-45 图示梁自重不计，在荷载作用下，下列关于支座反力的叙述何者正确？(　　)

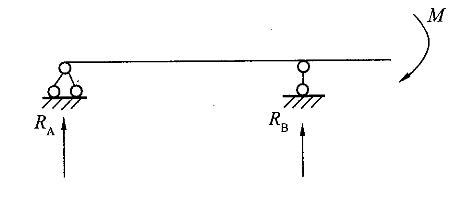
Ⅰ. $R_A<R_B$；Ⅱ. $R_A=R_B$；Ⅲ. R_A 向上，R_B 向下；Ⅳ. R_A 向下，R_B 向上

A Ⅰ、Ⅲ　　B Ⅱ、Ⅲ　　C Ⅰ、Ⅳ　　D Ⅱ、Ⅳ

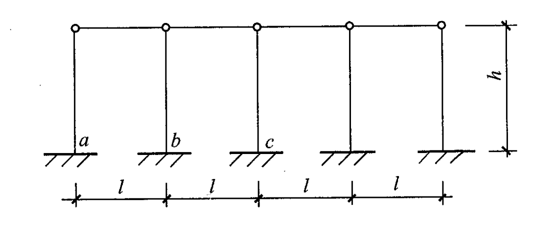
8-46 图示结构各杆截面相同，各杆温度均匀升高 t，则(　　)。

A $M_a=M_b=M_c$　　B $M_a>M_b>M_c$

C $M_a<M_b=M_c$　　D $M_a>M_b=M_c$



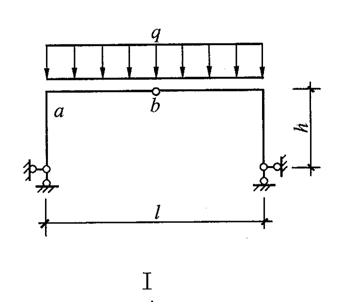
题 8-45 图



题 8-46 图

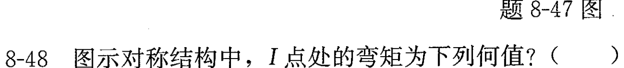
8-47 关于下列结构Ⅰ和Ⅱ中 a、c 点的弯矩正确的是(　　)。

A $M_a=M_c$　　B $M_a>M_c$　　C $M_a<M_c$　　D 无法判断



Ⅰ　　　　Ⅱ

题 8-47 图

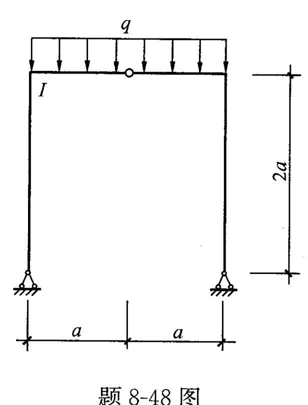


8-48 图示对称结构中，I 点处的弯矩为下列何值？(　　)

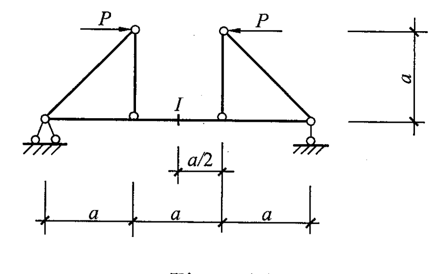
A 0　　B $\frac{1}{2}qa^2$　　C qa^2　　D $\frac{1}{12}qa^2$

8-49　图示结构中，I 点处弯矩为何值？(　　)

A　0　　B　$\frac{1}{2}Pa$　　C　Pa　　D　$\frac{3}{2}Pa$



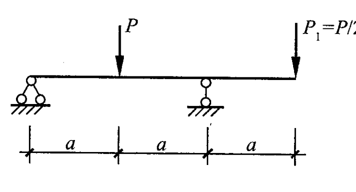
题 8-48 图



题 8-49 图

8-50　图示结构，P 位置处梁的弯矩为下列何值？(　　)

A　0　　B　$\frac{1}{4}Pa$　　C　$\frac{1}{2}Pa$　　D　Pa

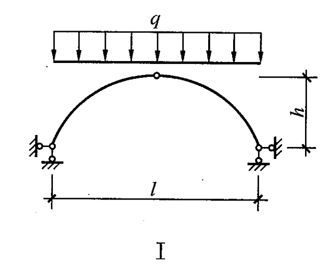


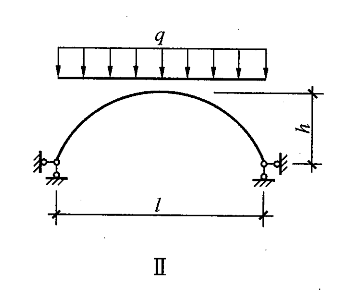
题 8-50 图

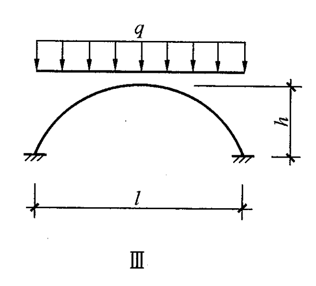
8-51　图示三铰拱、两铰拱、无铰拱截面特性相同，荷载相同，则下述(　　)结论正确。

A　各拱支座推力相同　　B　各拱支座推力差别较大

C　各拱支座推力接近　　D　各拱支座推力不具可比性







题 8-51 图

8-52　关于图示索结构柱底 a、b、c 三点的弯矩，说法正确的是(　　)。

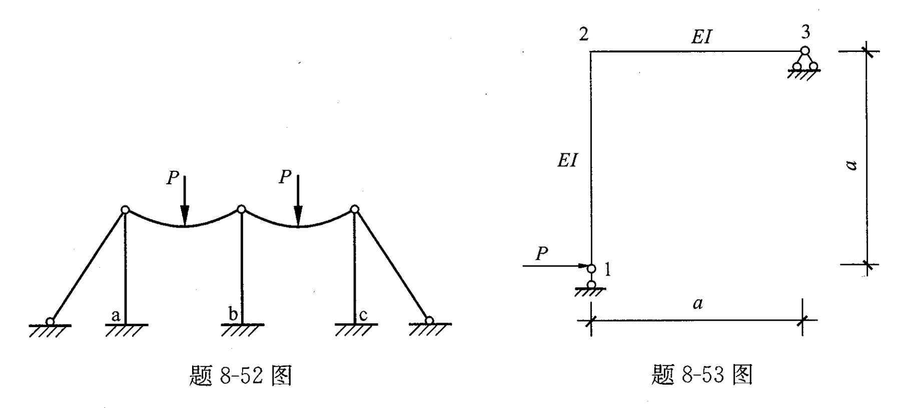
A　$M_a=M_b=M_c=0$　　B　$M_a=M_b=M_c\neq0$

C　$M_a=M_c\neq0$，$M_b=0$　　D　M_a、M_b、M_c 均远大于 0

8-53　图示结构中，1 点处的水平位移为何值？(　　)

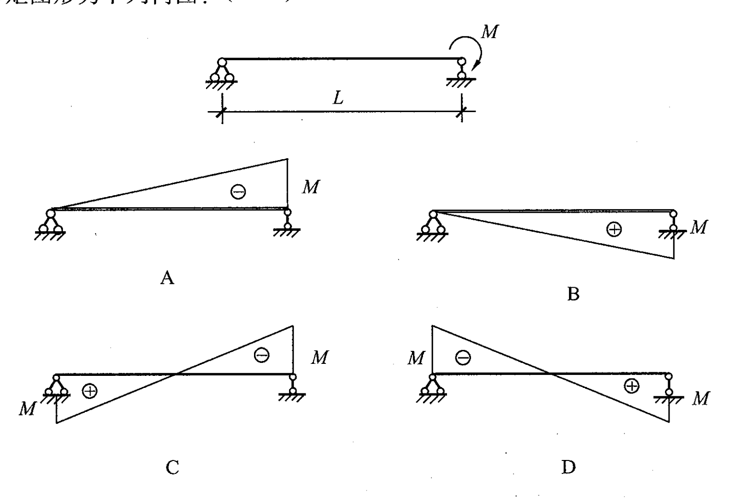
A　0　　B　$\frac{1}{3Pa^3/EI}$

C　$\frac{2}{3}Pa^3/EI$　　D　Pa^3/EI



题 8-52 图　　　　　　　　　　题 8-53 图

8-54　图示梁的弯矩图形为下列何图？（　　）



题 8-54 图

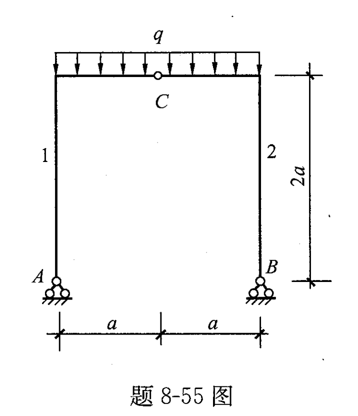
8-55　图示对称结构中，柱 1 的轴力为下列何值？（　　）

A　$qa/4$　　　B　$qa/2$　　　C　qa　　　D　$2qa$

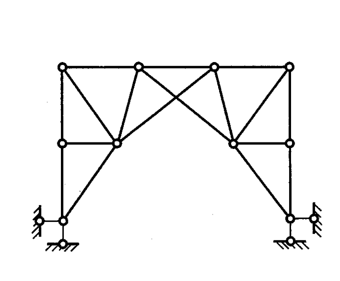
8-56　图示体系为（　　）。

A　几何不变无多余约束　　　B　几何不变有多余约束

C　几何常变　　　D　几何瞬变



题 8-55 图



题 8-56 图

8-57 图示结构中，B 点的弯矩是(　　)。

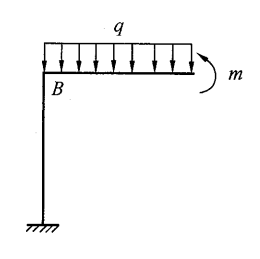
A 使柱左侧受拉　　B 使柱右侧受拉

C 为零　　D 以上三种可能都存在

8-58 三铰拱在图示荷载作用下，支座 A 的水平反力为(　　)。

A P（方向向左）　　B P（方向向右）

C $\frac{P}{2}$（方向向右）　　D 0

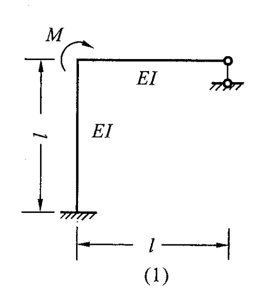


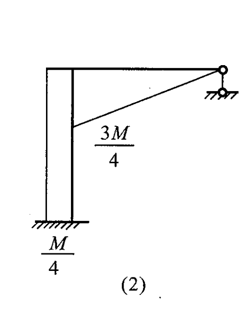
题 8-57 图

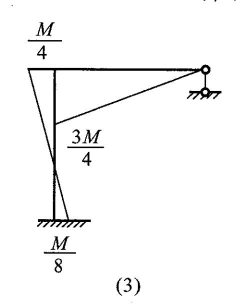
题 8-58 图

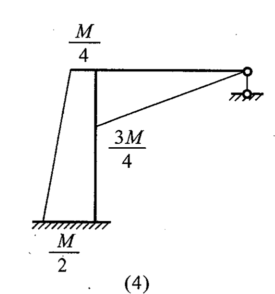
8-59 图（1）结构的最后弯矩图为(　　)。

A 图（2）　　B 图（3）　　C 图（4）　　D 都不是









题 8-59 图

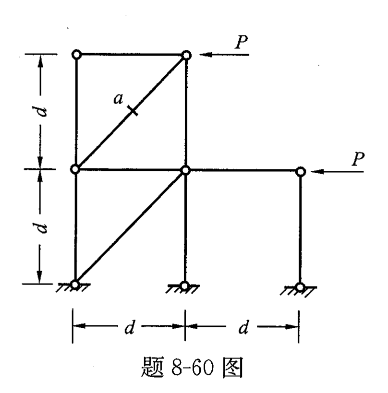
8-60 图示桁架杆 a 的轴力为(　　)。

A $-\sqrt{2}P$

B $\sqrt{2}P$

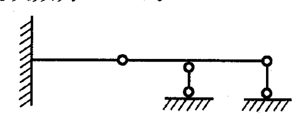
C $-\frac{\sqrt{2}}{2}P$

D $\frac{\sqrt{2}}{2}P$



题 8-60 图

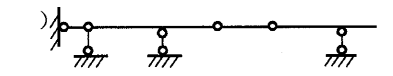
8-61 图示结构的超静定次数为(　　)。



题 8-61 图

A 1次　　B 2次　　C 3次　　D 4次

8-62　图示结构属于下列何种体系？(　　)

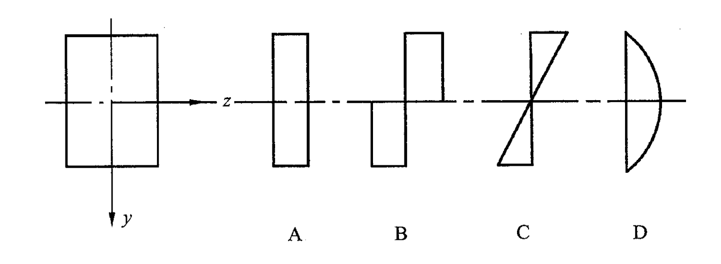


题 8-62 图

A　无多余约束的几何不变体系　　　　B　有多余约束的几何不变体系

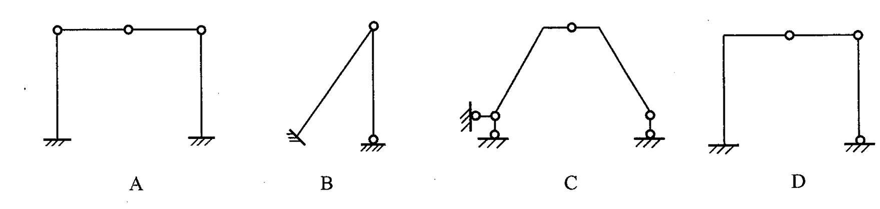
C　常变体系　　　　　　　　　　　　D　瞬变体系

8-63　矩形截面梁在 y 向荷载作用下，横截面上剪应力的分布为(　　)。



题 8-63 图

8-64　判断下列图示结构何者为静定结构体系？(　　)



题 8-64 图

8-65　图示结构属于下列何种结构体系？(　　)

A　无多余约束的几何不变体系　　　　B　有多余约束的几何不变体系

C　常变体系　　　　　　　　　　　　D　瞬变体系

8-66　判断图示结构属于下列何种结构体系？(　　)

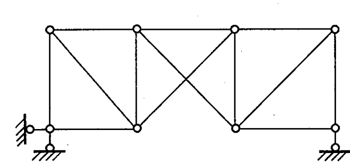
A　无多余约束的几何不变体系　　　　B　有多余约束的几何不变体系

C　常变体系　　　　　　　　　　　　D　瞬变体系

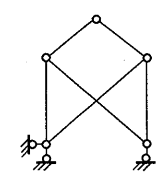
8-67　图示结构被均匀加热 $t°$，产生的 A、B 支座内力为(　　)。

A　水平力、竖向力均不为零　　　　B　水平力为零，竖向力不为零

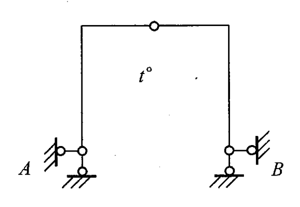
C　水平力不为零，竖向力为零　　　D　水平力、竖向力均为零



题 8-65 图

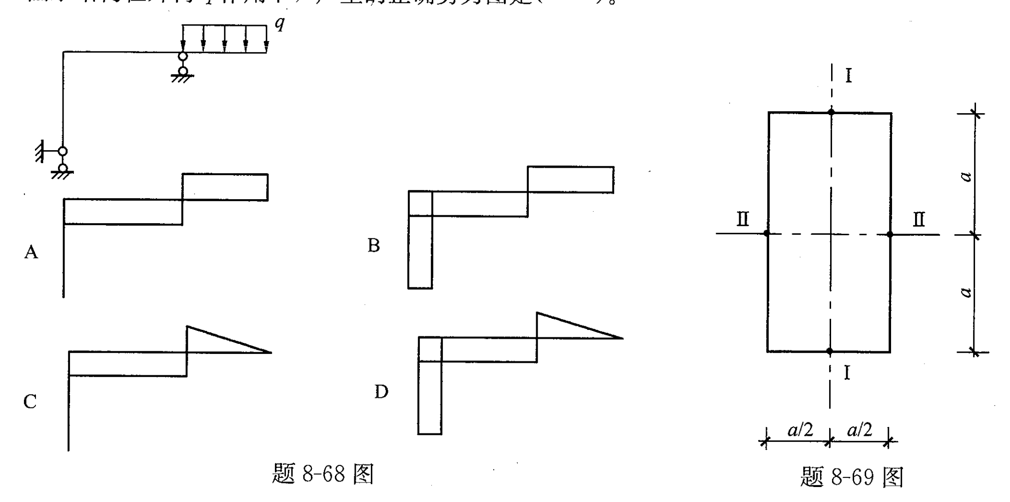


题 8-66 图



题 8-67 图

8-68　图示结构在外荷 q 作用下，产生的正确剪力图是(　　)。



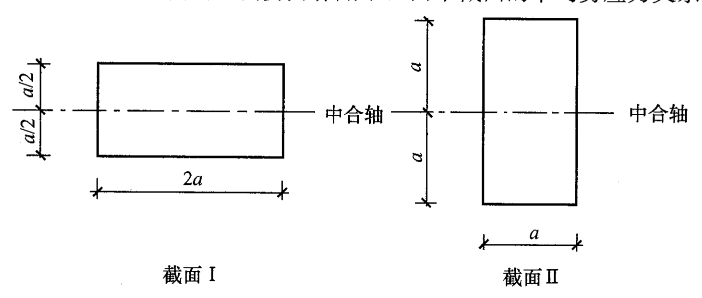
题 8-68 图　　　　题 8-69 图

8-69　图示矩形截面梁在纯扭转时，横截面上最大剪应力发生在下列何处？(　　)

A　Ⅰ点　　　　B　Ⅱ点

C　截面四个角顶点　　　　D　沿截面外周圈均匀相等

8-70　图示两个矩形截面梁，在相同的竖向剪力作用下，两个截面的平均剪应力关系为(　　)。



题 8-70 图

A　$\tau_{\mathrm{I}}=\frac{1}{2}\tau_{\mathrm{II}}$　　B　$\tau_{\mathrm{I}}=\tau_{\mathrm{II}}$　　C　$\tau_{\mathrm{I}}=2\tau_{\mathrm{II}}$　　D　$\tau_{\mathrm{I}}=4\tau_{\mathrm{II}}$

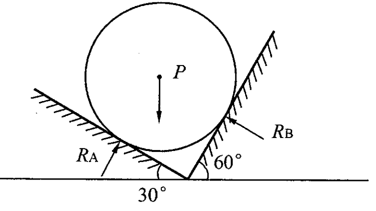
8-71　图示一圆球，重量为 P，放在两个光滑的斜面上静止不动，斜面斜角分别为 30°和 60°，产生的 R_A 和 R_B 分别为(　　)。

A　$R_A=\tan30°P$，$R_B=\frac{1}{\tan30°}P$

B　$R_A=\frac{1}{\tan30°}P$，$R_B=\tan30°P$

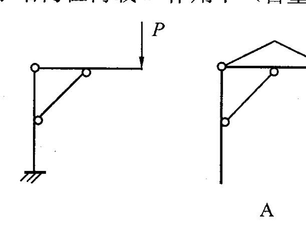
C　$R_A=\sin30°P$，$R_B=\cos30°P$

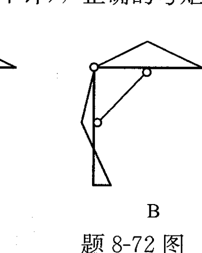
D　$R_A=\cos30°P$，$R_B=\sin30°P$

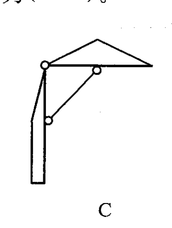


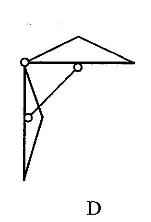
题 8-71 图

8-72　图示结构在荷载 P 作用下（自重不计），正确的弯矩图为(　　)。







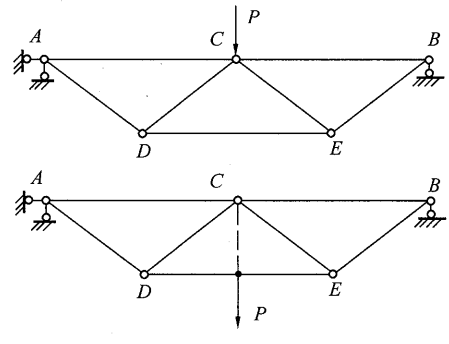


D

题 8-72 图

8-73　同一桁架在图示两种荷载作用下，哪些杆件内力发生变化？（　　）

A　仅 DE 杆　　B　AC、BC、DE 杆　　C　CD、CE、DE 杆　　D　所有杆件



题 8-73 图

题 8-74 图

8-74　图示结构支座 B 的反力为下列何项？（　　）

A　P　　B　$2P$　　C　$3P$　　D　$4P$

8-75　图示变截面柱，下柱柱顶 A 点的变形特征为下列何项？（　　）

A　A 点仅向右移动　　B　A 点仅有顺时针转动

C　A 点向右移动且有顺时针转动　　D　A 点无侧移、无转动

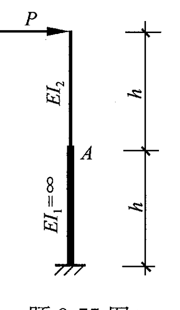
8-76　图示结构，A 支座竖向反力 R_A 为下列何项数值？（　　）

A　$R_A=3P$

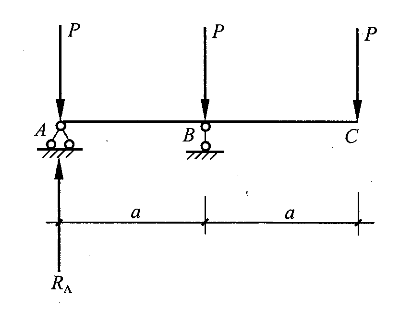
B　$R_A=2P$

C　$R_A=P$

D　$R_A=0$

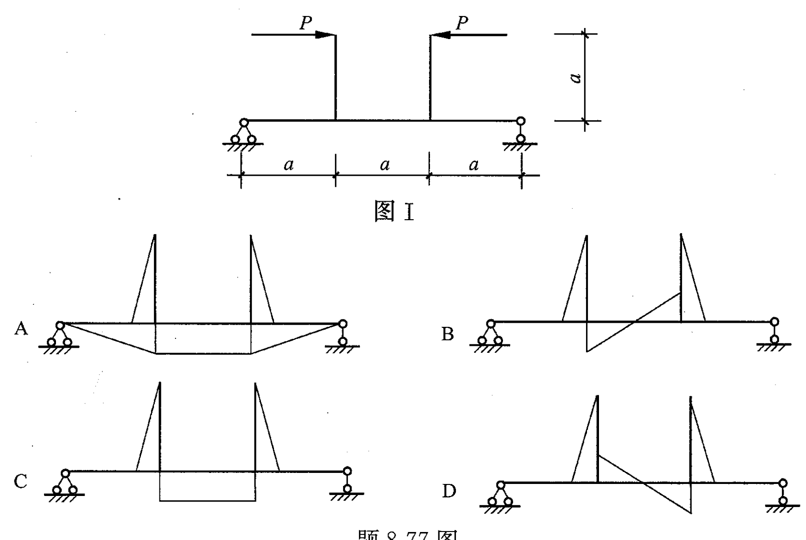


题 8-75 图



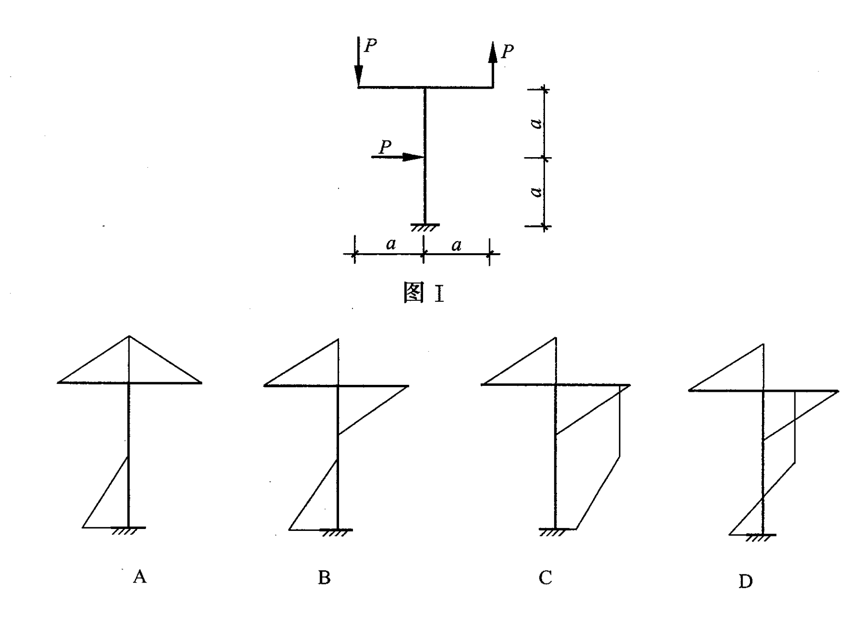
题 8-76 图

8-77　下列各项中，何者为图 Ⅰ 的弯矩图？（　　）



题 8-77 图

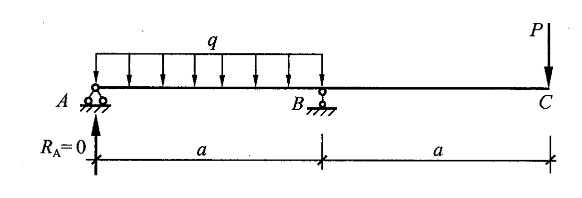
8-78　下列各项中，何者为结构图Ⅰ的弯矩图？（　　）



题 8-78 图

8-79　图示结构，已知支座 A 的竖向反力 $R_A=0$，则 P 为下列何值？（　　）

A　$P=0$　　B　$P=\frac{1}{2}qa$　　C　$P=qa$　　D　$P=2qa$



题 8-79 图

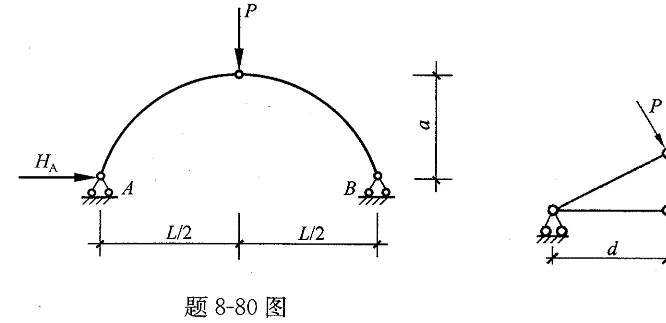
8-80　图示圆弧拱结构，当 $a<L/2$ 时，下列关于拱脚 A 点水平推力 H_A 的描述何项正确？（　　）

A　H_A 与 a 成正比　　B　H_A 与 a 成反比

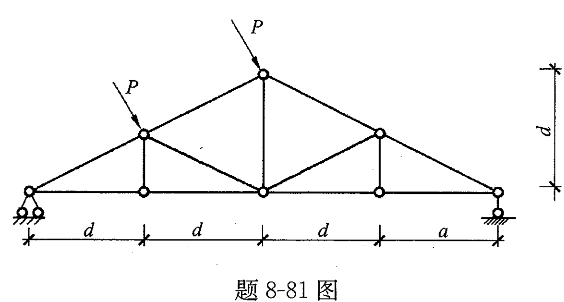
C　H_A 与 a 无关　　D　$H_A=0$

8-81　图示结构中零杆数应为下列何值？（　　）

A　1　　B　2　　C　3　　D　4

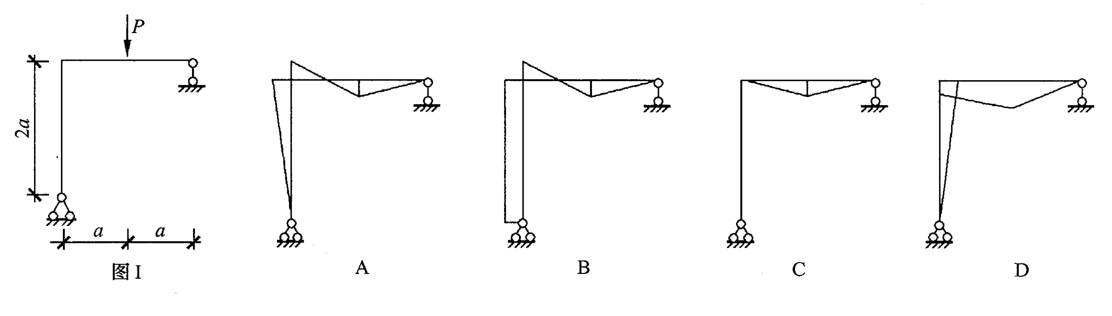


题 8-80 图



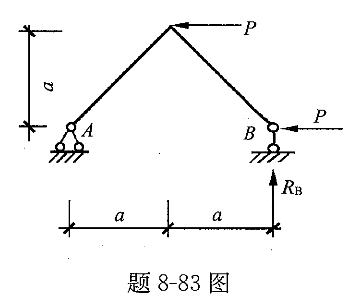
题 8-81 图

8-82 下列各项中，何者为图Ⅰ的弯矩图？（　　）



题 8-82 图

8-83 图示结构中，支座 B 的反力 R_B 为下列何值？（　　）



题 8-83 图

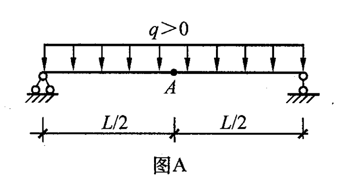
A　$R_B=0$

B　$R_B=P$

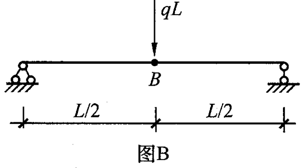
C　$R_B=-P/2$

D　$R_B=-P$

8-84 图 A 与图 B 仅荷载不同，则关于 A 点与 B 点的竖向变形数值（f_A 和 f_B）的关系，下列何项正确？（　　）



图A



图B

题 8-84 图

A　$f_A=f_B$　　B　$f_A>f_B$　　C　$f_A<f_B$　　D　无法判别

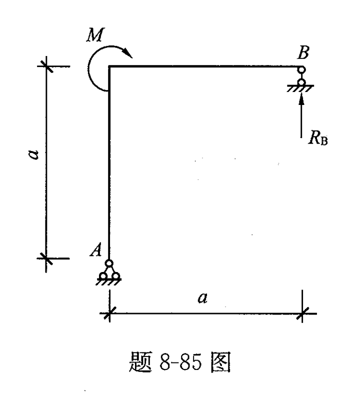
8-85 图示结构，支座 B 的反力 R_B 为下列何值？（　　）

A　$R_B=0$　　B　$R_B=M/a$

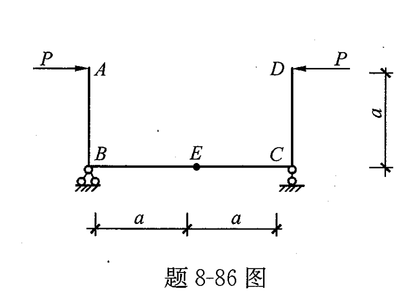
C　$R_B=M/2a$　　D　$R_B=M$

8-86 图示结构，当 A、D 点同时作用外力 P 时，下述对 E 点变形特征的描述何者正确？（　　）

A　E 点不动　　B　E 点向上　　C　E 点向下　　D　无法判断



题 8-85 图



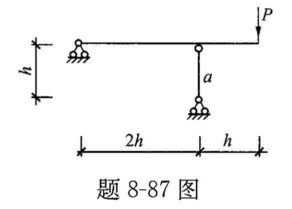
题 8-86 图

8-87　图示结构中，杆 a 的轴力 N_a 为下列何值？（　　）

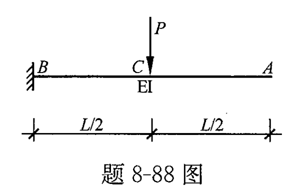
A　$N_a=0$　　B　$N_a=P/2$　　C　$N_a=P$　　D　$N_a=3P/2$

8-88　图示结构，C 点的竖向变形为 f_C，转角为 θ_C，则 A 点的竖向变形 f_A 应为下列何值？（　　）

A　$f_A=0$　　B　$f_A=f_C$　　C　$f_A=f_C+\frac{\theta_C L}{2}$　　D　$f_A=f_C-\frac{\theta_C L}{2}$



题 8-87 图

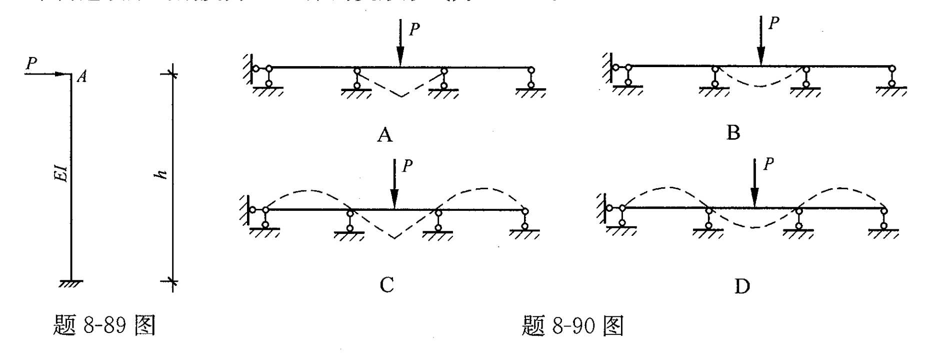


题 8-88 图

8-89　图示结构中，下列关于顶点 A 水平位移的描述，何项正确？（　　）

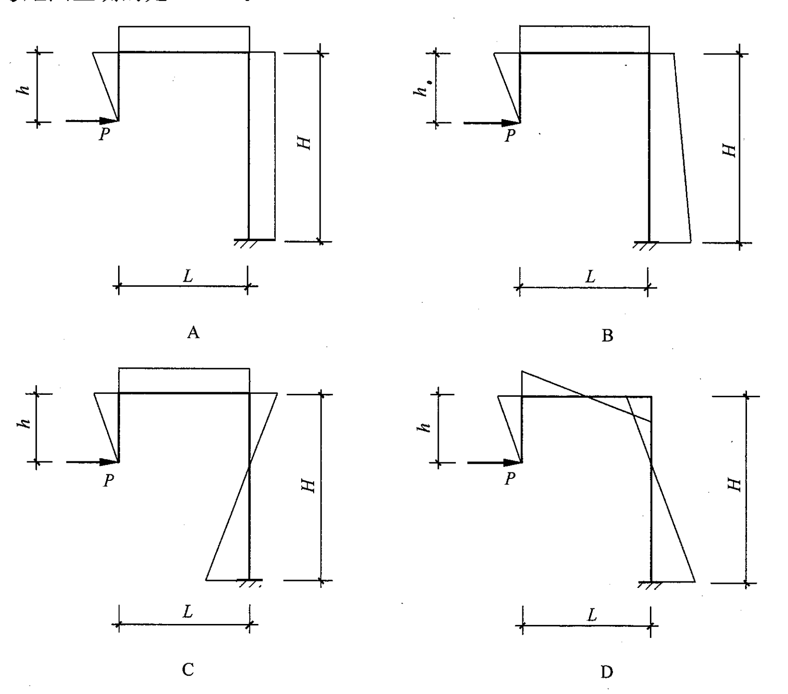
A　与 h 成正比　　B　与 h^2 成正比　　C　与 h^3 成正比　　D　与 h^4 成正比

8-90　图示结构连续梁的刚度为 EI，梁的变形形式为（　　）。



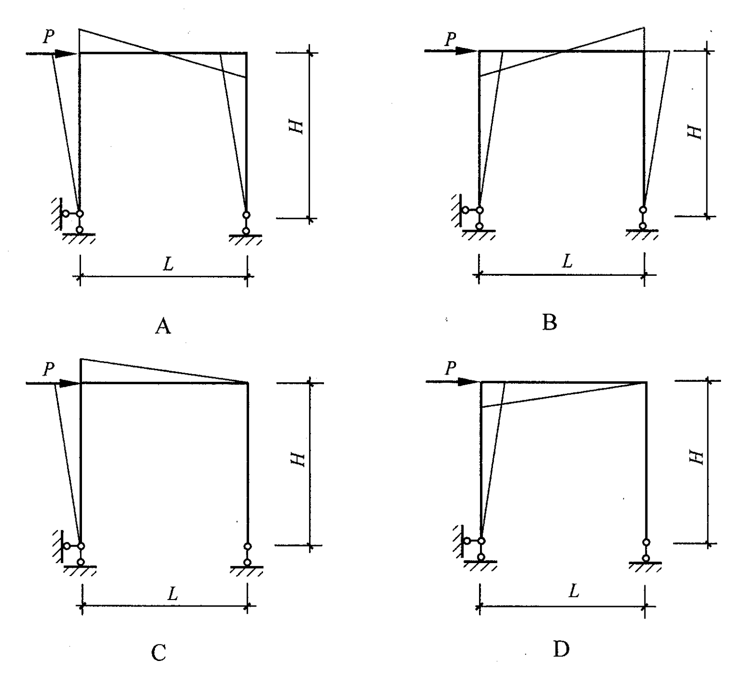
题 8-89 图　　题 8-90 图

8-91　图示结构弯矩图正确的是（　　）。



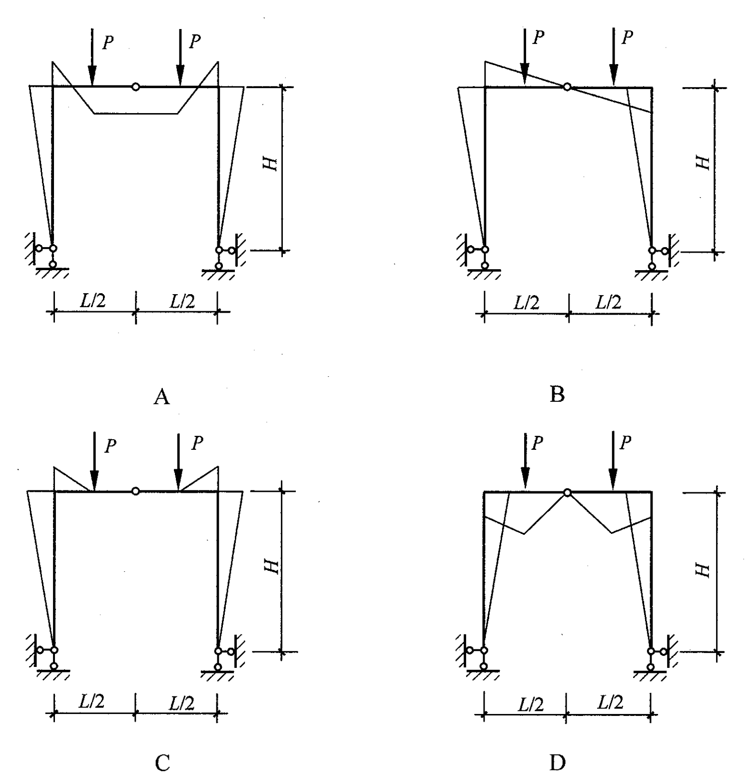
题 8-91 图

8-92　图示结构弯矩图正确的是(　　)。



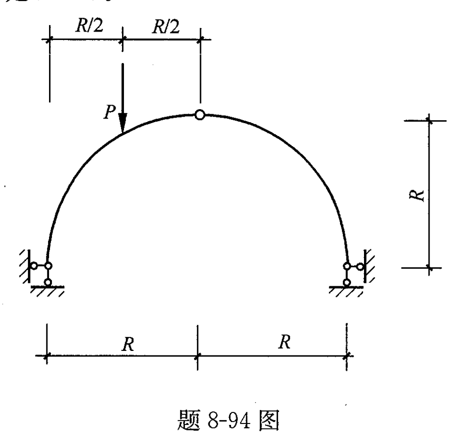
题 8-92 图

8-93　图示结构弯矩图正确的是(　　)。



题 8-93 图

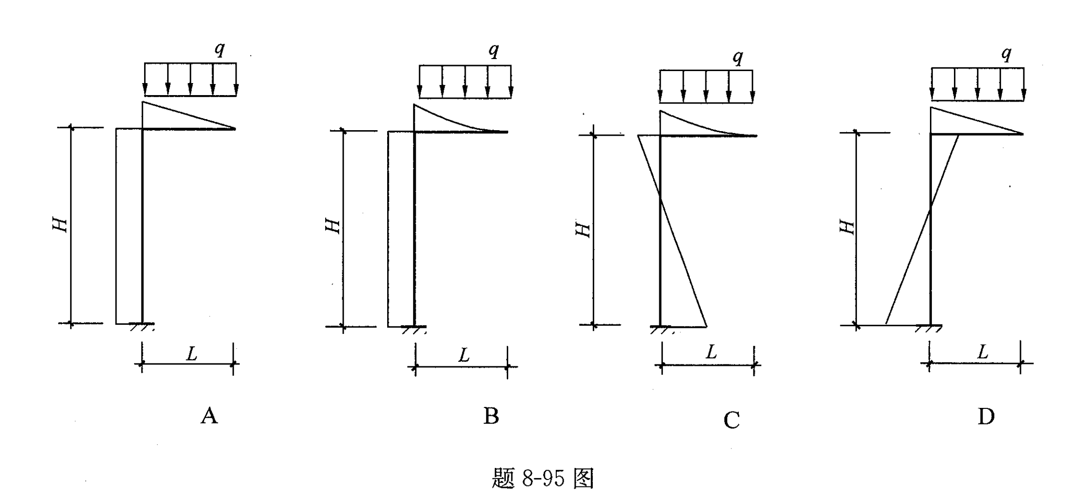
8-94　图示三铰拱支座的水平推力是(　　)。



题 8-94 图

A　$P/4$　　　B　P　　　C　$2P$　　　D　$3P$

8-95　图示结构弯矩图正确的是(　　)。



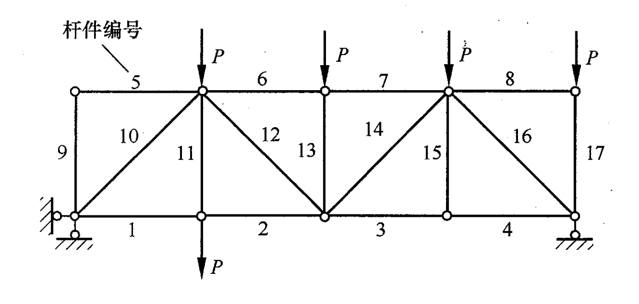
题 8-95 图

8-96　图示桁架零杆判定全对的是(　　)。

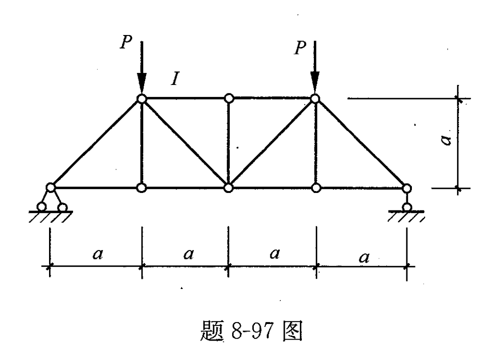
A　5、8、9、15　　　B　5、9、11、13　　　C　9、11、15、17　　　D　无零杆

8-97　图示结构，杆Ⅰ的内力为下列何值?(　　)

A　拉力$\frac{P}{2}$　　　B　压力$\frac{P}{2}$　　　C　拉力 P　　　D　压力 P

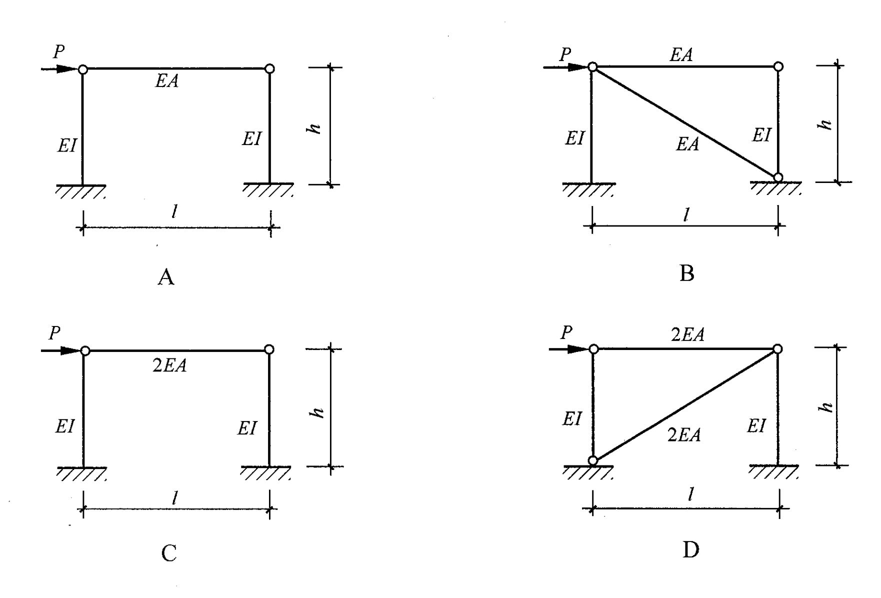


题 8-96 图



题 8-97 图

8-98 图示结构中，哪种结构柱顶水平位移最小？(　　)

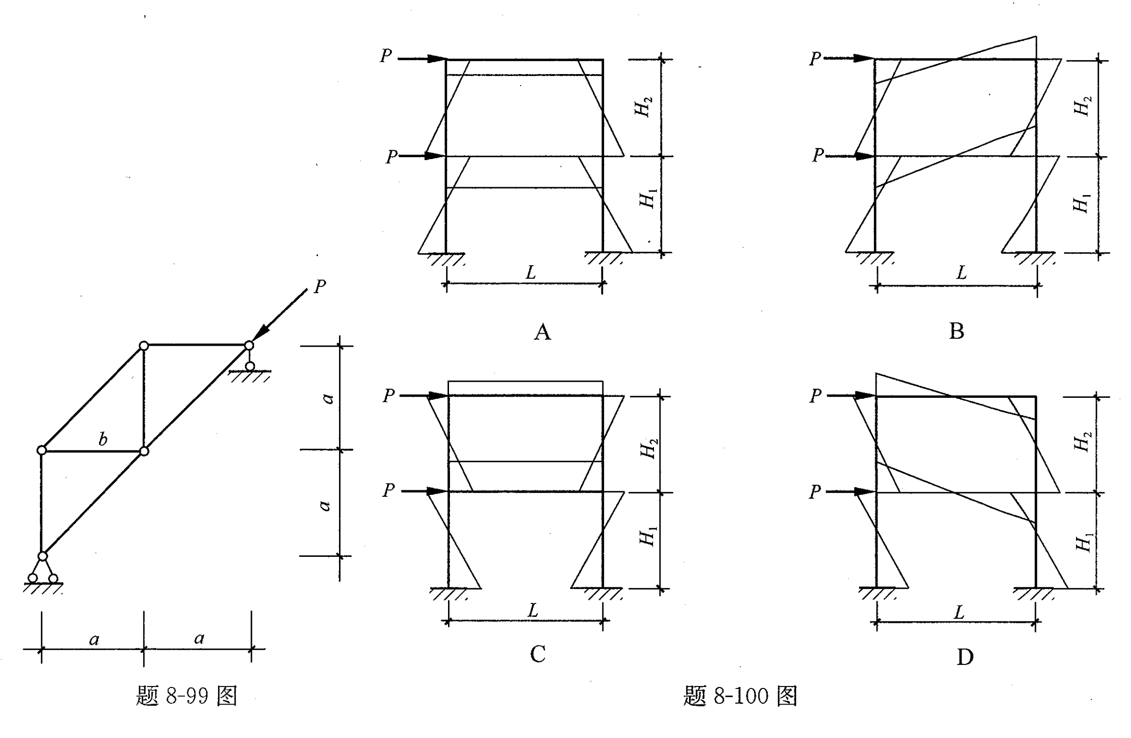


题 8-98 图

8-99 图示结构中，杆 b 的内力 N_b 应为下列何项数值？(　　)

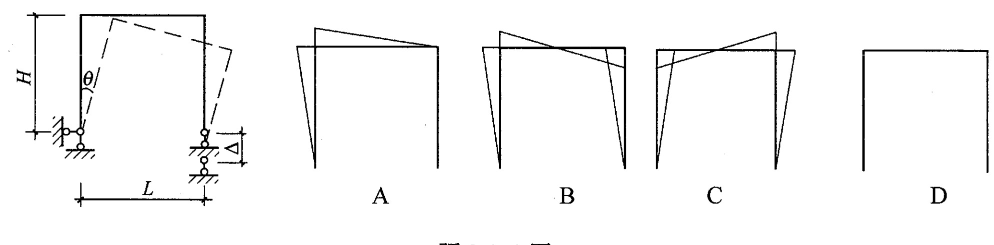
A　$N_b=0$　　B　$N_b=P/2$　　C　$N_b=P$　　D　$N_b=\sqrt{2}P$

8-100 图示框架结构弯矩图正确的是(　　)。



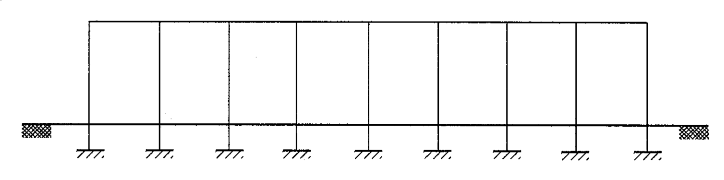
题 8-99 图　　题 8-100 图

8-101　图示刚架结构右支座竖向下沉 Δ，则结构的弯矩图是(　　)。



题 8-101 图

8-102　图示框架结构中，柱的刚度均为 $E_c I_c$，梁的刚度为 $E_b I_b$，当地面以上结构温度均匀升高 t℃时下列表述正确的是(　　)。

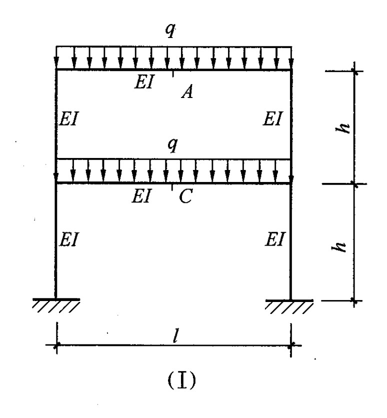


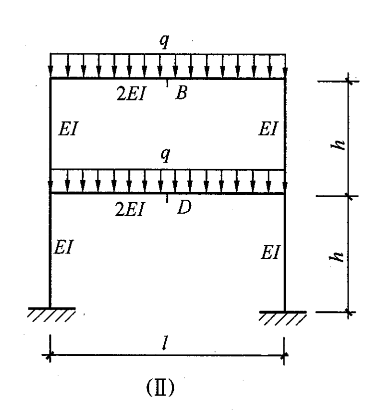
题 8-102 图

A　温度应力由结构中间向两端逐渐增大　　B　温度应力由结构中间向两端逐渐减小

C　梁、柱的温度应力分别相等　　D　结构不产生温度应力

8-103　图示两结构因梁的高宽不同而造成抗弯刚度的不同，梁跨中弯矩最大的位置是(　　)。





题 8-103 图

A　A 点　　B　B 点　　C　C 点　　D　D 点

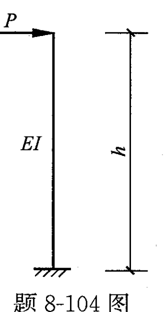
8-104　柱受力如图，柱顶将产生下列何种变形？(　　)

A　水平位移

B　竖向位移

C　水平位移＋转角

D　水平位移＋竖向位移＋转角



题 8-104 图

8-105　图示结构在水平外力 P 作用下，各支座竖向反力哪组正确？(　　)

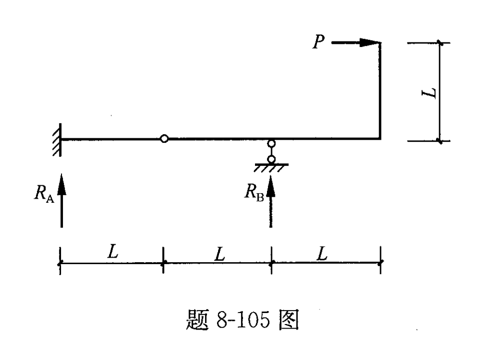
A　$R_A=0$，$R_B=0$　　B　$R_A=-P/2$，$R_B=P/2$

C　$R_A=-P$，$R_B=P$　　D　$R_A=-2P$，$R_B=2P$

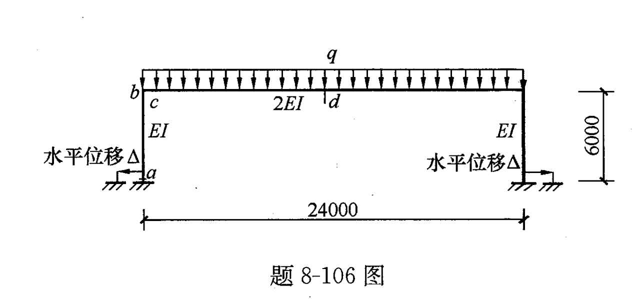
8-106　图示单层大跨框架结构，当采用多桩基础时，由桩的水平位移 Δ 引起的附加

弯矩将使框架的哪个部位因弯矩增加而首先出现抗弯承载力不足？（　　）

A　a　　　B　b　　　C　c　　　D　d

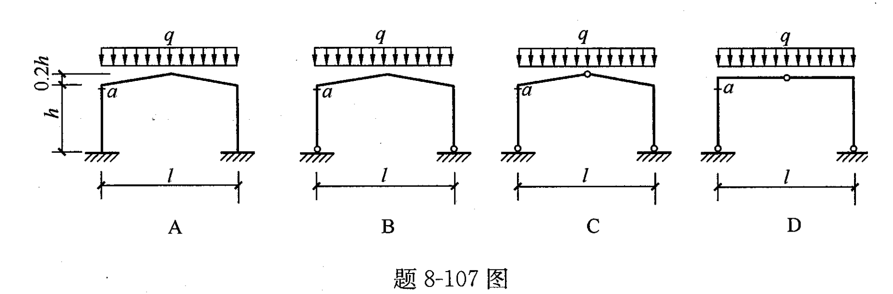


题 8-105 图



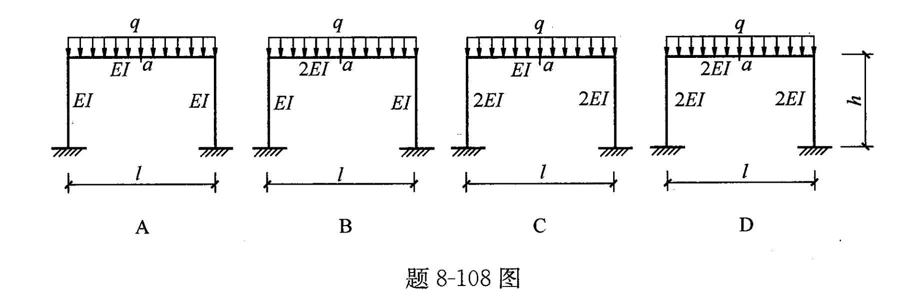
题 8-106 图

8-107　图示四种门式刚架的材料与构件截面均相同，哪种刚架柱顶 a 点弯矩最小？（　　）



题 8-107 图

8-108　图示四种刚架中，哪一种横梁跨中 a 点弯矩最大？（　　）



题 8-108 图

8-109　屋架在外力 P 作用下时，下列关于各杆件的受力状态的描述，哪一项正确？（　　）

Ⅰ. 上弦杆受压、下弦杆受拉

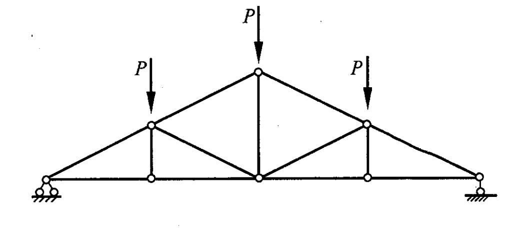
Ⅱ. 上弦杆受拉、下弦杆受压

Ⅲ. 各杆件均为轴力杆

Ⅳ. 斜腹杆均为零杆

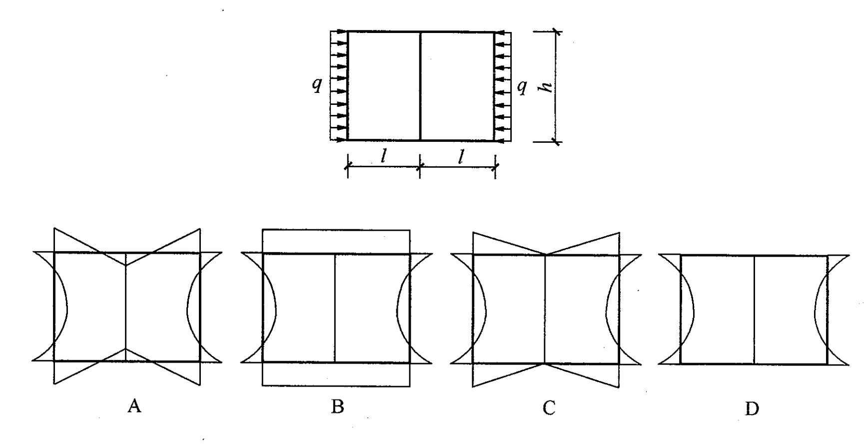
A　Ⅰ、Ⅲ　　　B　Ⅱ、Ⅲ

C　Ⅰ、Ⅳ　　　D　Ⅱ、Ⅳ



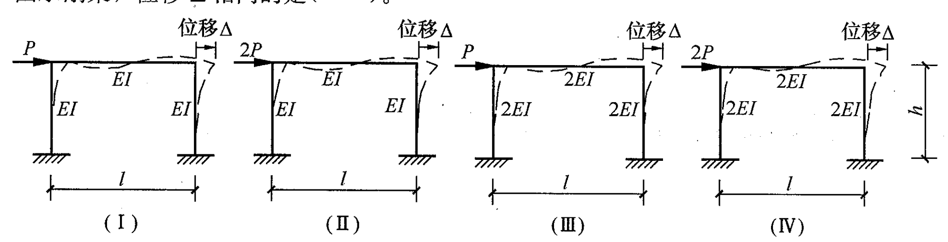
题 8-109 图

8-110　图示双跨刚架各构件刚度相同，正确的弯矩图是（　　）。



题 8-110 图

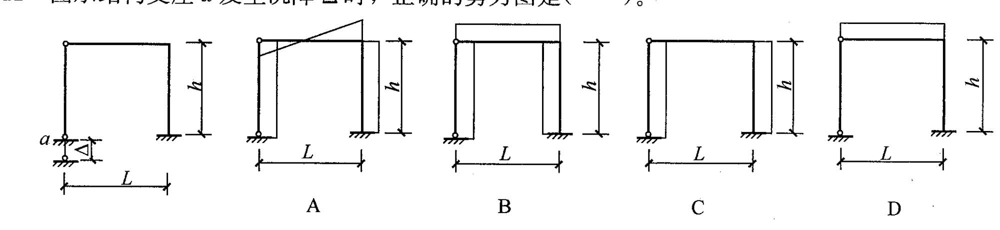
8-111　图示刚架，位移 Δ 相同的是(　　)。



题 8-111 图

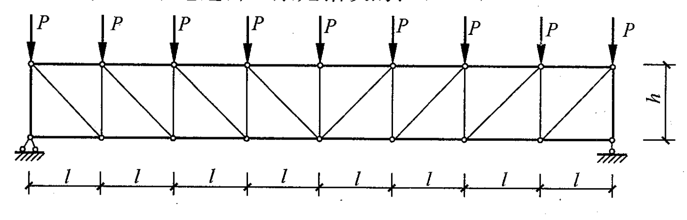
A　(Ⅰ)与(Ⅲ)　B　(Ⅰ)与(Ⅳ)　C　(Ⅱ)与(Ⅳ)　D　(Ⅲ)与(Ⅳ)

8-112　图示结构支座 a 发生沉降 Δ 时，正确的剪力图是(　　)。



题 8-112 图

8-113　图示桁架杆件的内力规律，以下论述哪一条是错误的？(　　)



题 8-113 图

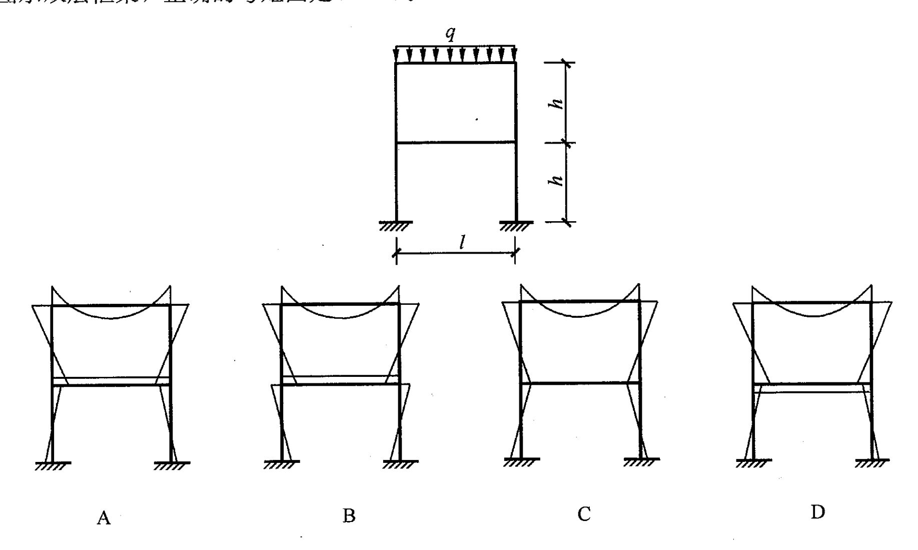
A　上弦杆受压且其轴力随桁架高度 h 增大而减小

B　下弦杆受拉且其轴力随桁架高度 h 增大而减小

C　斜腹杆受拉且其轴力随桁架高度 h 增大而减小

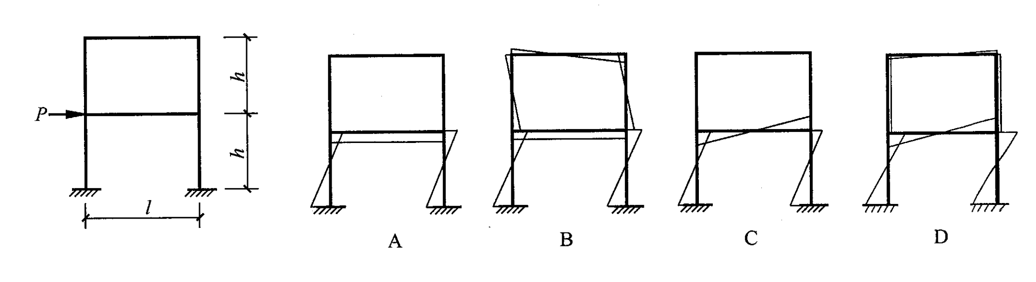
D　竖腹杆受压且其轴力随桁架高度 h 增大而减小

8-114　图示双层框架，正确的弯矩图是(　　)。



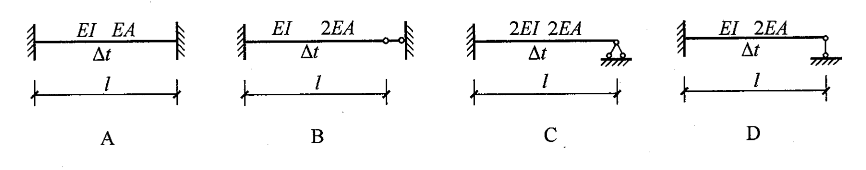
题 8-114 图

8-115　图示双层框架杆件刚度相同，则正确的弯矩图是(　　)。



题 8-115 图

8-116　图示结构各杆温度均匀降低 Δt，引起杆件轴向拉力最大的是(　　)。

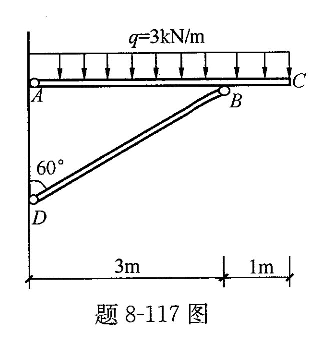


题 8-116 图

8-117　图示管道支架承受均布荷载 q，A、B、D 点为铰接点，杆件 BD 受到的压力为(　　)。

A　12kN　　B　$12\sqrt{3}$kN

C　16kN　　D　$16\sqrt{3}$kN

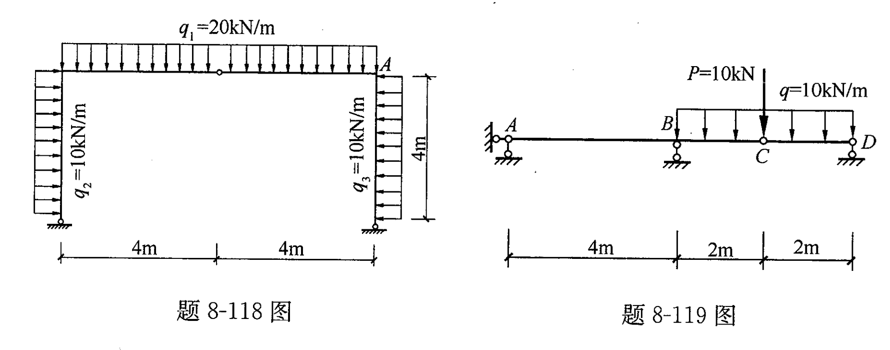


题 8-117 图

8-118　图示三铰刚架转角 A 处弯矩为：(　　)

A　80kN・m　　B　120kN・m

C　160kN・m　　D　200kN・m



题 8-118 图　　　　　　题 8-119 图

8-119　图示多跨静定梁 B 点弯矩为(　　)。

A　$-40\text{kN}\cdot\text{m}$　　B　$-50\text{kN}\cdot\text{m}$　　C　$-60\text{kN}\cdot\text{m}$　　D　$-90\text{kN}\cdot\text{m}$

参 考 答 案

8-1	A	8-2	B	8-3	B	8-4	D	8-5	C	8-6	D
8-7	D	8-8	D	8-9	C	8-10	C	8-11	A	8-12	A
8-13	B	8-14	C	8-15	B	8-16	A	8-17	D	8-18	D
8-19	C	8-20	C	8-21	C	8-22	A	8-23	A	8-24	B
8-25	A	8-26	D	8-27	B	8-28	D	8-29	B	8-30	C
8-31	C	8-32	C	8-33	B	8-34	B	8-35	B	8-36	A
8-37	A	8-38	A	8-39	B	8-40	C	8-41	A	8-42	B
8-43	A	8-44	C	8-45	D	8-46	B	8-47	B	8-48	B
8-49	C	8-50	B	8-51	B	8-52	C	8-53	C	8-54	A
8-55	C	8-56	B	8-57	D	8-58	D	8-59	A	8-60	A
8-61	A	8-62	C	8-63	D	8-64	D	8-65	A	8-66	C
8-67	D	8-68	C	8-69	B	8-70	B	8-71	D	8-72	C
8-73	C	8-74	B	8-75	D	8-76	D	8-77	C	8-78	C
8-79	B	8-80	B	8-81	C	8-82	C	8-83	C	8-84	C
8-85	B	8-86	C	8-87	D	8-88	C	8-89	C	8-90	D
8-91	C	8-92	D	8-93	C	8-94	A	8-95	B	8-96	A
8-97	D	8-98	D	8-99	A	8-100	B	8-101	D	8-102	A
8-103	B	8-104	C	8-105	C	8-106	D	8-107	A	8-108	B
8-109	A	8-110	A	8-111	B	8-112	D	8-113	D	8-114	A
8-115	D	8-116	B	8-117	C	8-118	C	8-119	C		

第九章　建筑结构与结构选型

第一节　概　　述

一、建筑结构的基本概念

（一）基本术语

1. 建筑物

人类建造活动的一切成果，如房屋建筑、桥梁、码头、水坝等。房屋建筑以外的其他建筑物有时也称构筑物。

2. 结构

能承受和传递作用并具有适当刚度的由各连接部件组合而成的整体，俗称承重骨架。

3. 工程结构

房屋建筑、铁路、公路、水运和水利水电等各类土木工程的建筑物结构的总称。

4. 结构体系

结构中的所有承重构件及其共同工作的方式。

5. 建筑结构

组成工业与民用建筑包括基础在内的承重体系，为房屋建筑结构的简称。对组成建筑结构的构件、部件，当其含义不致混淆时，亦可统称为结构。

6. 建筑结构单元

房屋建筑结构中，由伸缩缝、沉降缝或防震缝隔开的区段。

7. 作用

施加在结构上的集中力或分布力和引起结构外加变形或约束变形的原因。前者也称直接作用（荷载），后者也称间接作用。

8. 作用效应

由作用引起的结构或结构构件的反应。如内力、变形等。

9. 结构抗力

结构或结构构件承受作用效应的能力。如承载力、刚度等。

（二）建筑结构的组成（图 9-1）

建筑结构一般都是由以下结构构件组成：

结构构件是指在物理上可以区分出的部分，如柱、墙、梁、板、基础桩等。

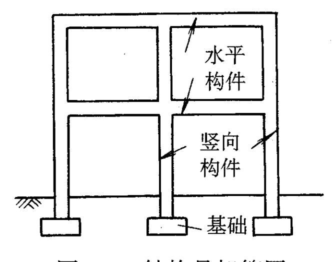


图 9-1　结构骨架简图

1. 水平构件

用以承受竖向荷载的构件，一般有梁和板。

2. 竖向构件

用以支承水平构件或承受水平荷载的构件，一般有柱、墙和基础桩。

注：基础是指将结构所承受的各种作用传递到地基（支承基础的土或岩体）上的结构组成部分，一般有：无筋扩展基础、扩展基础、柱下条形基础、高层建筑箱形和筏形基础、桩基础。

部件是指结构中由若干构件组成的具有一定功能的组合件，如楼梯、阳台、屋盖等。

（三）建筑结构的类型

1. 按组成建筑结构的主要建筑材料划分：

（1）木结构：原木结构、方木结构、胶合木结构；

（2）砌体结构：砖砌体结构、砌块砌体结构、石砌体结构、配筋砌体结构；

（3）钢结构：冷弯型钢结构、预应力钢结构；

（4）混凝土结构：素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构；

（5）混合结构：对高层建筑结构，由钢框架（框筒）、型钢混凝土框架（框筒）、钢管混凝土框架（框筒）与钢筋混凝土核心筒组成，并共同承受水平和竖向作用的结构。在多层房屋建筑中，该术语专指一般以砌体为主要承重构件和混凝土楼盖和屋盖（或木屋架屋盖、钢木屋架屋盖）等共同组成的结构。

注：组合结构是指同一截面或各杆件由两种或两种以上材料制成的结构。

2. 按组成建筑结构的结构形式划分

（1）平板结构体系。一般有：常规平板结构（板式结构、梁板式结构）、桁架与屋架结构、刚架与排架结构、空间网格结构（双层或多层网架、直线形立体桁架结构）、高层建筑结构（框架、剪力墙、框架一剪力墙、筒体、悬挂结构）。

（2）曲面结构体系。一般有：拱结构、空间网格结构（单层、双层或局部双层网壳、曲线形立体桁架结构）、索结构（悬索结构、斜拉结构、张弦结构、索穹顶）、薄壁空间结构（薄壳、折板、幕结构）等。

注：膜建筑是20世纪中期发展起来的一种新型建筑形式。膜不是结构，是建筑的围护系统，而真正的结构是那些支承和固定膜的钢结构，可分为充气膜建筑和张拉膜建筑。

幕结构是由双曲面壳结构经转化而形成的一种结构形式，也可称其为双向折板结构。

3. 按建筑结构的承载方式划分

（1）墙承载结构，如砌体结构、砖木结构、剪力墙结构等；

（2）柱结构，如框架结构、排架结构、刚架结构等；

（3）特殊类型结构，这里指不归入前两种类型的结构，如拱结构和大跨度空间结构等。

注：参见——樊振和．建筑结构体系及选型．北京：中国建筑工业出版社，2011。

4. 规范对单层、多层、高层以及大跨度建筑的规定

《民用建筑设计通则》GB 50352—2005

（1）住宅建筑依层数划分为：一层至三层为低层住宅，四层至六层为多层住宅，七层至九层为中高层住宅，十层及十层以上为高层住宅。

（2）除住宅建筑之外的民用建筑高度不大于24m者为单层和多层建筑，大于24m者为高层建筑（不包括建筑高度大于24m的单层公共建筑）。

（3）建筑高度大于100m的民用建筑为超高层建筑。

《建筑设计防火规范》GB 50016—2014

（1）建筑高度不大于27m的住宅建筑（包括设置商业服务网点的建筑）为单、多层

民用建筑。

（2）建筑高度大于 24m 的单层公共建筑，建筑高度不大于 24m 的其他公共建筑为单、多层民用建筑。

（3）其他为高层民用建筑，并分为一类与二类。

《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010

10 层及 10 层以上或房屋高度大于 28m 的住宅建筑和房屋高度大于 24m 的其他高层民用建筑。

《空间网格结构技术规程》JGJ 7—2010

本规程中大、中、小跨度划分系针对屋盖而言；大跨度为 60m 以上；中跨度为 30～60m；小跨度为 30m 以下。

《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010

现浇钢筋混凝土房屋的大跨度框架是指跨度不小于 18m 的框架。

《钢结构设计规范》GB 50017—2003

大跨度屋盖结构体系指跨度大于等于 60m 的屋盖结构，可采用桁架、刚架或拱等平面结构以及网架、网壳、索膜结构等空间结构。

此外尚可按建筑结构的受力特点划分为：平面结构体系与空间结构体系两大类。

二、建筑结构基本构件与结构设计

组成结构体系的单元体称为基本构件。按受力特征来划分主要有以下三类：轴心受力构件、偏心受力构件和受弯构件。

按其主要受力性质常常又划分为：拉杆、压杆和受弯构件。

（一）轴心受力构件

当构件所受外力的作用点与构件截面的形心重合时，则构件横截面产生的应力为均匀分布，这种构件称为轴心受力构件。可分为：

1. 轴心受拉构件

构件所受的力，使构件横断面仅产生均匀拉应力时即为轴心受拉构件。常用于桁架的下弦杆及受拉斜腹杆。

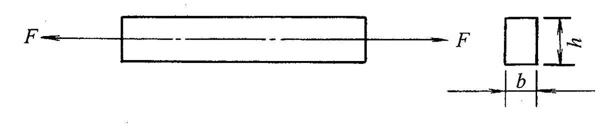


图 9-2　轴心受拉构件

如图 9-2 所示构件内的应力为：

$$\sigma_1 = \frac{F}{bh} \tag{9-1}$$

此构件的承载能力为 $\sigma_1 \leqslant [\sigma]$。

式中　$[\sigma]$ ——材料的允许应力。

这种构件最能充分发挥材料的强度。

2. 轴心受压构件

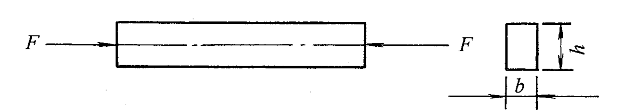


图 9-3　轴心受压构件

外力以压力的方式作用在构件的轴心处，使构件产生均匀压应力时，即为轴心受压构件，如图 9-3 所示。

其截面应力为：

$$\sigma_1=\frac{F}{bh} \tag{9-2}$$

但轴心受压构件的实际承载力是由稳定性控制，稳定系数 $\psi<1$，故其承载力的表达式为：

$$\sigma_2=\frac{F}{\psi bh}\leqslant [\sigma] \tag{9-3}$$

这是因为受压构件承载时，截面应力尚未达到材料的强度设计值前就会因弯折而失去承载能力这种现象称为丧失稳定性。上式中的 ψ 值即为按稳定考虑的承载力与强度承载力的比值，称为稳定系数。

由此可见相同材料的拉杆与压杆受同样的荷载 F 作用时，拉杆所需的截面尺寸要比压杆小。

拉杆所需截面为： $A_1=\frac{F}{[\sigma]}$

压杆所需截面为： $A_2=\frac{F}{\psi\ [\sigma]}$

式中 $[\sigma]$ ——材料的强度设计值（即允许应力）。

$\psi<1$，故 $A_2>A_1$

ψ 值与杆件的长细比 λ 有关；$\lambda=\frac{l_0}{i}$

式中 l_0——杆件计算长度；

i——截面的回转半径；$i=\sqrt{\frac{I}{A}}$；

I——截面的惯性矩；矩形截面时 $I=\frac{1}{12}bh^3$，$A=b\times h$。

所以 $$i=\sqrt{\frac{1}{12}\cdot b\cdot h^3/b\cdot h}=\sqrt{\frac{1}{12}\cdot h^2}=\sqrt{\frac{1}{12}}h=0.289h$$

λ 越大，ψ 越小，则实际承载力越小。

一般提高压杆承载力的措施为：

（1）选用有较大 i 值的截面，即面积分布尽量远离中和轴；

（2）改变柱端固接条件或增设中间支承以改变杆件计算长度 l_0。

（二）偏心受力构件

偏心受力构件分为两种：偏心受拉和偏心受压构件。

1. 偏心受拉构件

（1）定义：构件承受的拉力作用点与构件的轴心偏离，使构件产生既受拉又受弯时，即为偏心受拉构件（亦称拉弯构件）。常见于屋架下弦有节间荷载时。

（2）构件的受力状态（图 9-4）

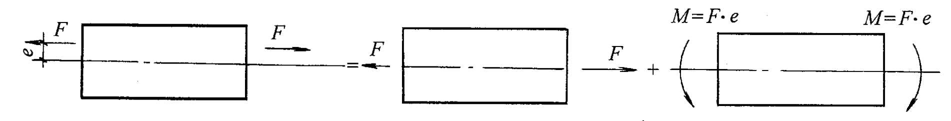


图 9-4 偏心受拉构件

由图 9-4 可知其截面产生的应力是由两种应力叠加的，其边沿应力公式为：

$$\sigma_{\min}^{\max}=\frac{F}{b\cdot h}\pm\frac{M}{W}=\frac{F}{bh}\pm\frac{F\cdot e}{\frac{1}{6}b\cdot h^2}=\frac{F}{bh}\left(1\pm\frac{6\cdot e}{h}\right) \tag{9-4}$$

构件的承载能力应满足 $\sigma_{\max}\leqslant[\sigma]$。

$\sigma_{\max}$——边沿最大拉应力；

$\sigma_{\min}$——边沿最小拉应力；

W——截面抵抗矩。

由上式可见在受同样的外拉力时偏心受拉构件，其应力要比轴心受拉构件，增大许多，因此在结构设计应尽量避免出现这种构件。

2. 偏心受压构件

（1）定义：构件承受的压力作用点与构件的轴心偏离，使构件产生既受压又受弯时即为偏心受压构件（亦称压弯构件）。常见于屋架的上弦杆、框架结构柱，砖墙及砖垛等。

（2）构件的受力状态（图 9-5）

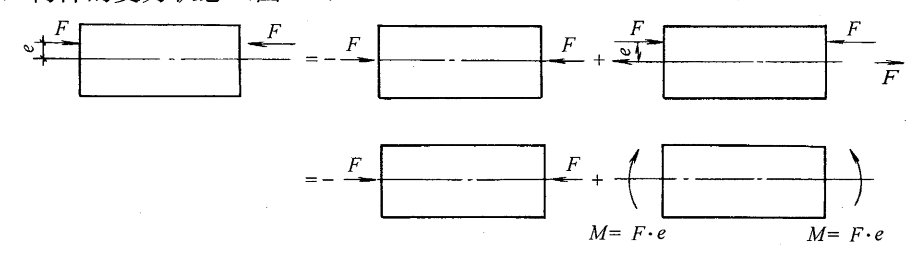


图 9-5 偏心受压构件

截面产生的边沿应力公式为：

$$\sigma_{\min}^{\max}=\frac{F}{bh}\pm\frac{M}{W}=\frac{F}{bh}\left(1\pm\frac{6e}{h}\right) \tag{9-5}$$

式中 $\sigma_{\max}$——边沿最大压应力；

$\sigma_{\min}$——边沿最小压应力。

由上式可见，在受同样的压力 F 时，当作用点与截面轴心偏离时，截面内的压应力增加甚多，而且当偏心距较大时截面内除压应力外将产生一部分拉应力。

在实践中尚有双向偏心构件。

（三）受弯构件

1. 定义

当一水平构件在跨间承受荷载，使其产生弯曲，构件将产生弯矩和剪力，截面内将产生弯曲应力和剪应力。这种构件即称为受弯构件。这是结构设计中最常见的构件。

2. 受弯构件的受力状态

（1）简支梁在不同荷载作用下的弯矩 M 及剪力 V（图 9-6）；

（2）多跨连续梁在均布荷载作用下的弯矩和剪力（图 9-7）。

在跨度范围内弯矩和剪力都是变化的。

（3）梁截面内的应力分布

1）弯曲应力（图 9-8）

$$\sigma=\pm\frac{M\cdot y}{I} \tag{9-6}$$

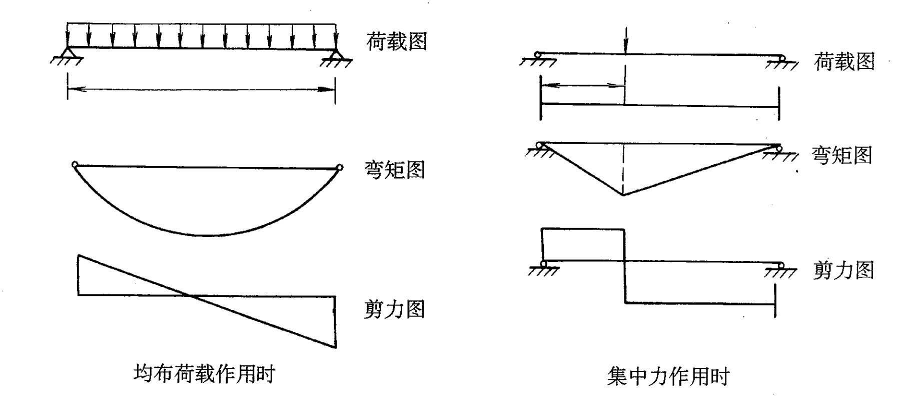


图 9-6　简支梁在不同荷载作用下的弯矩 M 及剪力 V

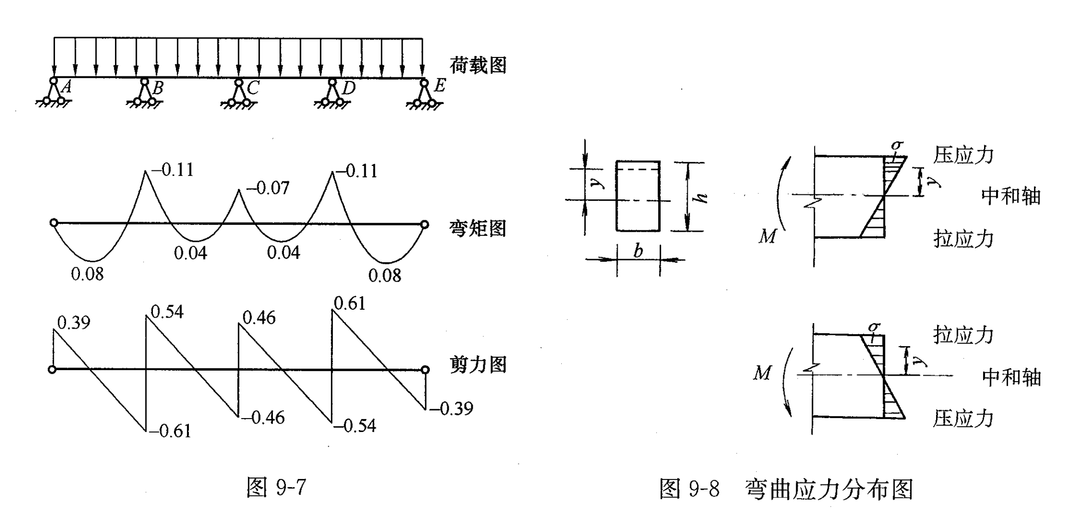


图 9-7

图 9-8　弯曲应力分布图

边沿最大应力：

$$\pm\sigma_{\max}=\pm\frac{M\cdot\frac{h}{2}}{\frac{1}{12}\cdot bh^{3}}=\pm\frac{6\cdot M}{bh^{2}}$$

$+\sigma_{\max}$——边沿最大拉应力；

$-\sigma_{\max}$——边沿最大压应力。

弯曲应力沿截面高度为三角形分布，中和轴处应力为零；向下弯曲时（↶）中和轴以上为压应力，中和轴以下为拉应力；向上弯曲时（↷），中和轴以上为拉应力，以下为压应力。

2）剪应力

剪应力在截面上的分布也是不均匀的，其分布规律见图 9-9。

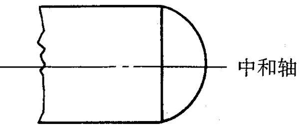


图 9-9　剪应力分布规律图

平均剪应力：　$\tau=\frac{V}{bh}$　(9-7)

截面上的剪应力：　$\tau=\frac{VS}{Ib}$　(9-8)

式中　I——截面惯性矩；

S——计算点以上截面对中和轴的面积矩。

①剪应力在梁高方向的分布是中和轴处最大，以近抛物线的形状分布，在截面边沿处剪应力为零；

②沿梁长度方向，支座处剪力最大，剪应力也最大；

③截面的抗剪主要靠腹板（即梁的截面中部）。

（4）受弯构件的变形（图 9-10）

受弯构件在荷载作用下要产生弯曲，于是将产生弯曲变形，使梁产生挠度。

1）梁的挠度跨中最大。

2）挠度的大小与正弯矩成正比。

3）跨度相同、荷载相同时，简支梁的挠度比连续梁、两端固定或一端固定一端简支的梁要大。

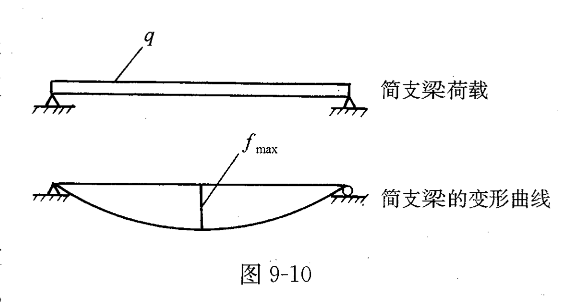


图 9-10

4）挠度的大小与梁的 EI 成反比。

（5）受弯构件的设计要点

1）要满足弯曲应力不超过材料的强度设计值。即最大弯矩处的最大弯曲应力必须小于强度设计值。

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W}\leqslant [\sigma] \tag{9-9}$$

2）梁内最大剪力的断面平均剪应力不超过材料抗剪的设计值。

3）梁的最大挠度值不得超过规范规定的数值。

（四）几种基本构件的比较

上述几种基本构件的合理应用，就能取得合理的结构设计。

1. 轴心受拉构件是受力最好的构件

（1）最能充分发挥材料性能。因在外力作用下，沿构件全长及截面的内力及应力都是均匀分布。

（2）在承受相同的荷载下，与受压和受弯构件相比所需的断面最小。

（3）只有具有最多数量的轴拉构件和较少轴压和受弯构件组成的结构体系才是最省材料和经济合理的体系。

2. 轴压构件

承载力受稳定的影响，故应避免长杆受压，设计时要特别注意侧向稳定。

3. 偏心受压构件

在相同截面下，因受偏心弯矩的影响，其承载力将随偏心距的加大而大为减小。而且也要考虑侧向稳定的影响。

4. 受弯构件

（1）构件内的内力不均匀分布，因此不能充分发挥材料的作用。

（2）还存在变形能否满足要求的问题，有时虽已满足强度要求，变形不能满足时，则应按变形要求增大构件断面尺寸。

第二节　多层与高层建筑结构体系

9 层及 9 层以下为多层建筑，10 层及 10 层以上或高度超过 28m 的住宅建筑和高度大于 24m 的其他高层民用建筑为高层建筑。

一、多层砌体结构

（一）概述

1. 砌体结构房屋是指同一房屋结构体系中，采用两种或两种以上不同材料组成的承重结构体系。

2. 砖砌体结构是指由钢筋混凝土楼（屋）盖和砖墙承重的结构体系（亦称砖混结构）。

3. 砌体结构一般是指采用钢筋混凝土楼（屋）盖和用砖或其他块体（如：混凝土砌块）砌筑的承重墙组成的结构体系。

4. 过去曾有过用木楼（屋）盖与砖墙承重的结构体系，称为砖木结构。目前已很少采用。

（二）砌体结构的优缺点和应用范围

1. 主要优点

（1）主要承重结构（承重墙）是用砖（或其他块体）砌筑而成的，这种材料任何地区都有，便于就地取材。

（2）墙体既是围护和分隔的需要，又可作为承重结构，一举两得。

（3）多层房屋的纵横墙体布置一般很容易达到刚性方案的构造要求，故砌体结构的刚度较大。

（4）施工比较简单，进度快，技术要求低，施工设备简单。

2. 主要缺点

（1）砌体强度比混凝土强度低得多，故建造房屋的层数有限，一般不超过 7 层。

（2）砌体是脆性材料，抗压能力尚可，抗拉、抗剪强度都很低，因此抗震性能较差。

（3）多层砌体房屋一般宜采用刚性方案，故其横墙间距受到限制，因此不可能获得较大的空间，故一般只能用于住宅、普通办公楼、学校、小型医院等民用建筑以及中小型工业建筑。

（三）砖砌体房屋的墙体布置方案

1. 横墙承重方案

楼层的荷载通过板梁传至横墙，横墙作为主要承重竖向构件，纵墙仅起围护、分隔、自承重及形成整体作用。

优点：横墙较密，房屋横向刚度较大，整体刚度好。外纵墙不是承重墙立面处理比较方便，可以开设较大的门窗洞口。抗震性能较好。

缺点：横墙间距较密，房间布置的灵活性差，故多用于宿舍、住宅等居住建筑。

2. 纵墙承重方案

其受力特点是：板荷载传给梁，再由梁传给纵墙。这时纵墙是主要承重墙。横墙只承受小部分荷载，横墙的设置主要为了满足房屋刚度和整体性的需要，其间距比较大。

优点：房间的空间可以较大，平面布置比较灵活。

缺点：房屋的刚度较差，纵墙受力集中，纵墙较厚或要加壁柱。

适用于：教学楼、实验室、办公楼、医院等。

3. 纵横墙承重方案

根据房间的开间和进深要求，有时需采取纵横墙同时承重的方案。

横墙的间距比纵墙承重方案小。所以房屋的横向刚度比纵墙承重方案有所提高。

4. 内框架承重方案

砌体结构房屋抗震设计的适用范围，随国家经济的发展而不断改变。1989 年版《建筑抗震设计规范》删去了“底部内框架砖房”的结构形式；2001 年版规范删去了混凝土中型砌块和粉煤灰中型砌块的规定，并将“内框架砖房”限制于多排柱内框架；2010 年的修订，考虑到“内框架砖房”已很少使用且抗震性能较低，取消了相关内容。

二、框架结构体系

（一）框架结构的特点与优点

1. 基本概念

（1）框架是由梁和柱刚性连接的骨架结构。

（2）框架结构采用的材料：

1）型钢；

2）钢筋混凝土。

2. 框架结构的特点

（1）框架的连接点是刚节点，是一个几何不变体。

（2）在竖向荷载作用下，梁、柱互相约束，从而减少横梁的跨中弯矩，其变形及弯矩图见图 9-11。

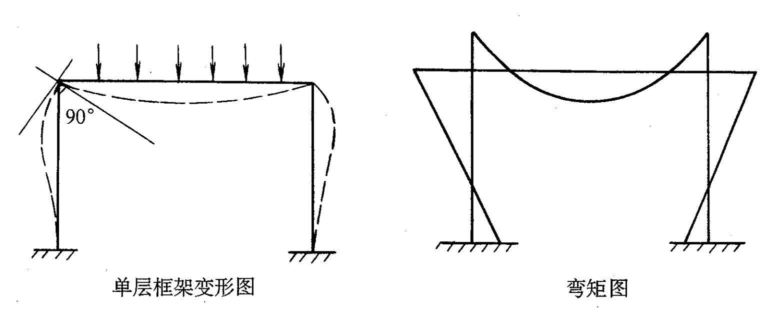


图 9-11　单层框架（刚架）竖向荷载作用下变形及弯矩图

（3）在水平力作用下，梁柱的刚接可提高柱子的抗推刚度减小水平变形，成为很好的抗侧力结构（图 9-12）。

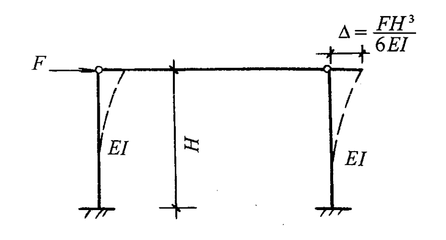
3. 框架结构的优点

（1）框架结构所用的钢筋混凝土或型钢有很好的抗压和抗弯能力，因此，可以加大建筑物的空间和高度。

（2）可以减轻建筑物的重量。

（3）有较好的抗震能力。

（4）有较好的延性。

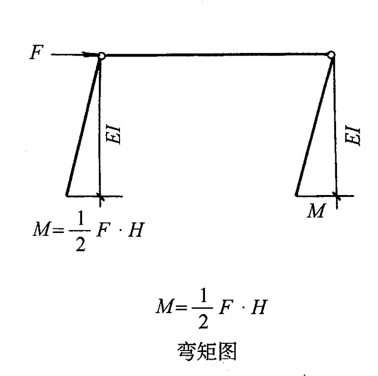


水平力作用下铰接排架的变形

$\Delta=\frac{FH^3}{12EI}$

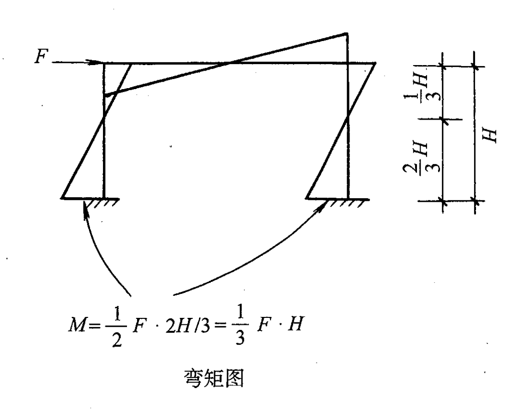
F

横梁 $EI=\infty$ 时的变形



$M=\frac{1}{2}F\cdot H$

弯矩图



$M=\frac{1}{2}F\cdot 2H/3=\frac{1}{3}F\cdot H$

弯矩图

图 9-12

（5）有较好的整体性。

4. 框架结构的缺点

因构件截面尺寸不可能太大故承载力和刚度受到一定限制，因此房屋的高度受到限制。

（二）框架结构的类型

1. 按构件组成划分为两种类型

（1）梁板式结构。由梁、板、柱三种基本构件组成骨架形成的框架结构。

（2）无梁式结构。由板和柱子组成的结构。

2. 按框架的施工方法划分为四种类型

（1）现浇整体式框架

框架全部构件均在现场现浇成整体。

1）整体性和抗震性能好；

2）构件尺寸不受标准构件限制。

（2）装配式框架

框架全部构件采用预制装配：

1）可加速施工进度，提高建筑工业化程度。

2）节点构造刚性差，抗震性能差。

（3）半现浇框架

梁、柱现浇，楼板预制或现浇柱，预制梁板。

1）梁、柱整体性较好，适用于抗震建筑。

2）楼板预制可节约模板，约 20%。

(4) 装配整体式框架

预制梁、柱，装配时通过局部现浇混凝土使构件连接成整体。

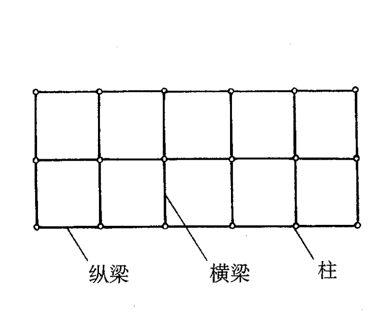
1) 保证了节点的刚接，结构整体性好；

2) 可省去连接件；

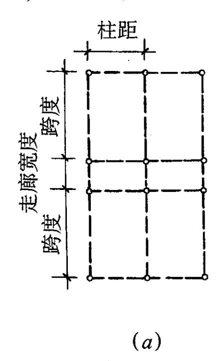
3) 增加了后浇混凝土工序；

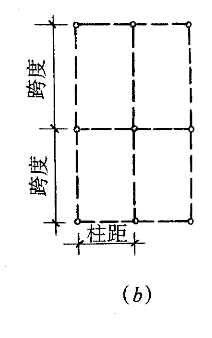
4) 比全现浇可节省模板及加快进度。

(三) 框架结构的平面布置方式（图 9-13）



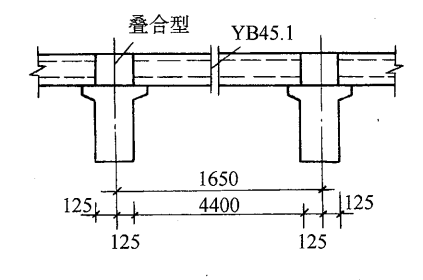
框架结构平面



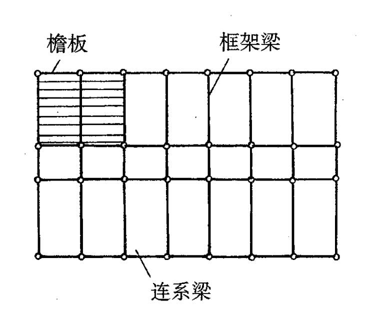


(a) (b)

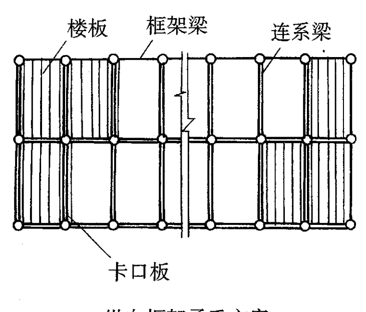
柱网布置方式



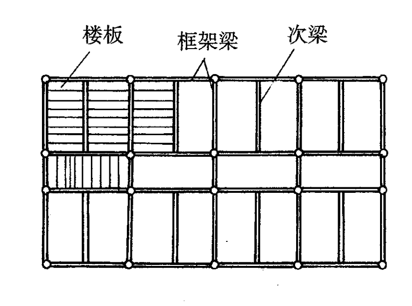
非模数柱网布置



横向框架承重方案



纵向框架承重方案



纵横向框架混合承重方案

图 9-13

(a) 内廊式；(b) 跨度组合式

1. 横向为主要承重框架，纵向为连系梁，只适用于非地震区。

2. 纵向为主要承重框架，横向为连系梁。

（1）有利于提高楼层净高的有效利用。

（2）房间的使用和划分比较灵活。

（3）不适用于地震区。

3. 主要承重框架纵横两个方向布置：

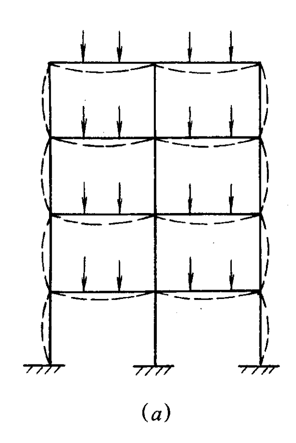
（1）当两个方向的水平力相差不大时，则必须采用这种布置。

（2）适用于地震区及平面为正方形的房屋。

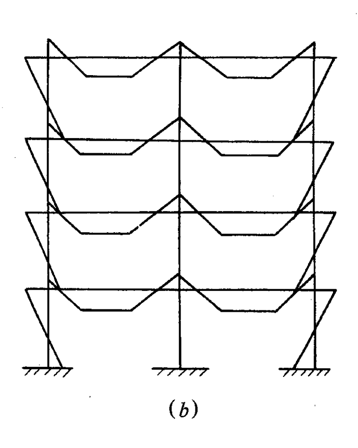
（四）框架结构的受力特性

1. 框架结构在竖向力作用下的变形和弯矩（图 9-14）

2. 框架结构在水平力作用下的变形和弯矩（图 9-15）



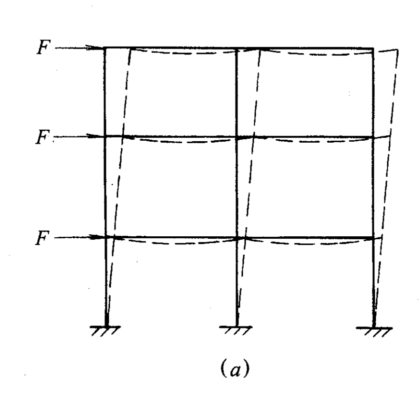
(*a*)



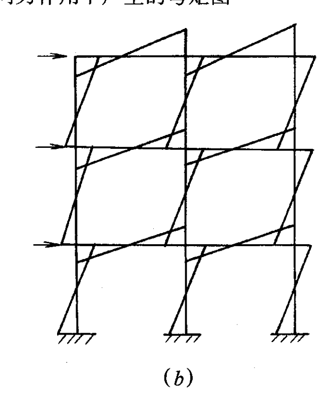
(*b*)

图 9-14

（*a*）框架在竖向力作用下的变形；（*b*）框架在竖向力作用下产生的弯矩图



(*a*)



(*b*)

图 9-15

（*a*）水平力作用下框架的变形；（*b*）水平力作用下框架的弯矩

三、剪力墙结构

（一）剪力墙的概念和结构效能

1. 建筑物中的竖向承重构件主要由墙体承担时，这种墙体既承担水平构件传来的竖向荷载，同时承担风力或地震作用传来的水平地震作用。剪力墙即由此而得名（抗震规范

定名为抗震墙）。

2. 剪力墙是建筑物的分隔墙和围护墙，因此墙体的布置必须同时满足建筑平面布置和结构布置的要求。

3. 剪力墙结构体系，有很好的承载能力，而且有很好的整体性和空间作用，比框架结构有更好的抗侧力能力，因此，可建造较高的建筑物。

4. 剪力墙的间距有一定限制，故不可能开间太大。对需要大空间时就不太适用。灵活性就差。一般适用住宅、公寓和旅馆。

5. 剪力墙结构的楼盖结构一般采用平板，可以不设梁，所以空间利用比较好，可节约层高。

（二）剪力墙结构体系的类型及适用范围

1. 框架-剪力墙结构。是由框架与剪力墙组合而成的结构体系，适用于需要有局部大空间的建筑，这时在局部大空间部分采用框架结构，同时又可用剪力墙来提高建筑物的抗侧能力，从而满足高层建筑的要求。

2. 普通剪力墙结构。全部由剪力墙组成的结构体系。

3. 框支剪力墙结构。当剪力墙结构的底部需要有大空间，剪力墙无法全部落地时，就需要采用底部框支剪力墙的框支剪力墙结构。

（三）普通剪力墙结构的结构布置

1. 平面布置（图 9-16）

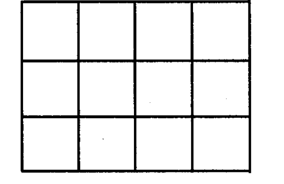
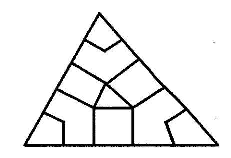



图 9-16

（1）剪力墙结构中全部竖向荷载和水平力都由钢筋混凝土墙承受，所以剪力墙应沿平面主要轴线方向布置。

1）矩形、L 形、T 形平面时，剪力墙沿两个正交的主轴方向布置；

2）三角形及 Y 形平面可沿三个方向布置；

3）正多边形、圆形和弧形平面，则可沿径向及环向布置。

（2）单片剪力墙的长度不宜过大：

1）长度很大的剪力墙，刚度很大将使结构的周期过短，地震力太大不经济；

2）剪力墙以处于受弯工作状态时，才能有足够的延性，故剪力墙应当是高细的，如果剪力墙太长时，将形成低宽剪力墙，就会由受剪破坏，剪力墙呈脆性，不利于抗震。故同一轴线上的连续剪力墙过长时，应用楼板或小连梁分成若干个墙段，每个墙段的高宽比应不小于 2。每个墙段可以是单片墙，小开口墙或联肢墙。每个墙肢的宽度不宜大于 8.0m，以保证墙肢是由受弯承载力控制，和充分发挥竖向分布筋的作用。内力计算时，墙段之间的楼板或弱连梁不考虑其作用，每个墙段作为一片独立剪力墙计算。

（3）剪力墙的数量要在方案阶段合理的确定，以对称，均匀，数量适当为好。

1）剪力墙的开间通常为 6.0～7.0m 的大开间，比 3.0～3.9m 的小开间更为经济合理，降低了材料用量，而且增大建筑使用面积。

2）剪力墙结构的基本周期控制在

$$T_1 = (0.04 \sim 0.05)N_S$$

N_S——为层数。

底部剪力控制在：

$$F_{EK} = (0.02 \sim 0.03)G(7\text{度，Ⅱ类场地})$$

$$F_{EK} = (0.04 \sim 0.06)G(8\text{度，Ⅱ类场地})$$

G——建筑物的总重力荷载。

若周期过短，地震力过大时，宜减少墙的数量。

（4）调整剪力墙结构刚度的方法有：

1）适当减小剪力墙的厚度；

2）降低连梁的高度；

3）增大门窗洞口宽度；

4）对较长的墙肢设置施工洞，分为两个墙肢。超过 8.0m 长时都应用施工洞划分为小墙肢。

2. 竖向布置

（1）剪力墙应在整个建筑的竖向延续，上到顶，下到底，中间楼层也不要中断。剪力墙不连续会造成刚度突变，对抗震非常不利。

（2）顶层取消部分剪力墙时，其余剪力墙应在构造上予以加强。

（3）底层取消部分剪力墙时，应设置转换层。

（4）为避免刚度突变，剪力墙的厚度应按阶段变化，每次厚度减小宜为 50～100mm，不宜过大，使墙体刚度均匀连续改变。厚度改变和混凝土强度等级的改变宜错开楼层。

（5）厚度变化时宜两侧同时内收。外墙及电梯间墙可只单面内收。

（6）剪力墙上的洞口宜上下对齐，并列布置，这种墙传力直接，受力明确，内力分布清楚；抗震性能好。错洞口上下不对齐，受力复杂，洞边容易产生应力集中，配筋大，地震时容易破坏。

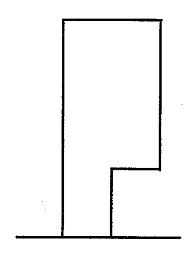


图 9-17

（7）相邻洞口之间及洞口与墙边缘之间要避免小墙肢。当墙肢的宽度与厚度之比小于 3 的小墙肢，在反复荷载作用下，早开裂，早破坏，故墙肢宽度不宜小于 $3b_w$（b_w 为墙厚），且不应小于 500mm。

（8）刀把形剪力墙会使剪力墙受力复杂，应力局部集中，而且竖向地震作用会产生较大的影响，宜十分慎重。如图 9-17 所示。

（四）剪力墙的构造要求

1. 剪力墙的数量

对目前设计的 16～28 层住宅来看，底层部分剪力墙截面总面积与楼面面积之比大约为：

$$\text{小开间}(3 \sim 4\text{m}):A_w/A_f = 6\% \sim 8\%$$

$$\text{大开间}(7 \sim 8\text{m}):A_w/A_f = 4\% \sim 6\%$$

A_w——剪力墙截面总面积；

A_f——楼面面积。

2. 剪力墙厚度

底层厚度可按每层 10mm 大约初估；最小厚度按 160mm（表 9-1）。

剪力墙住宅的墙厚（mm） **表 9-1**

层　数	小开间（3.3～4m）	大开间（6～8m）	层　数	小开间（3.3～4m）	大开间（6～8m）
20～24	200	220～240	10～16	160	180
18～20	180	200～220	8～10	160	160
16～18	180	200			

（五）框支剪力墙结构的设计要点

1. 框支剪力墙结构是指：当有的高层建筑为了满足多功能、综合用途的需要，在竖向，顶部楼层作为住宅、旅馆；中部楼层作为办公用房；下部楼层作为商店、餐馆、文化娱乐设施。不同用途的楼层，需要大小不同的开间，从而采用不同的结构形式。

上部楼层采用剪力墙结构以满足住宅和旅馆的要求；

中部办公楼用房则需要中、小室内空间同时存在，则宜采用框架-剪力墙结构来满足其要求；

底部作为商店等用房则需要有尽量大的空间，则宜加大柱网，尽量减少墙体。

上述要求与结构的合理布置正好相反，以高层建筑的受力规律，下部楼层受力很大，上部楼层的受力相对要小得多，正常的结构布置应当是下部刚度要大，墙体应多，柱网应密，到上部逐渐减少墙、柱、扩大轴线间距，二者正好矛盾。

为了解决上述矛盾，就出现了底层大空间的框支剪力墙结构。

2. 这种结构由于底部与上部结构的刚度产生突变，故在所发生的地震中，其破坏都较严重，抗震性能较差，故在设计中要特别加以注意，设计中要考虑两个关键问题：

（1）保证大空间有充分的刚度，防止竖向的刚度过于悬殊；

（2）加强转换层的刚度与承载力，保证转换层可以将上层剪力可靠地传递到落地墙上去。

3. 落地剪力墙的布置和数量

（1）底部大空间层应有落地剪力墙（或）落地筒体，落地纵横剪力墙最好成组布置，结合为落地筒。

（2）平面为长矩形，横向剪力墙的片数较多时，落地的横向剪力墙的数目与横向剪力墙数目之比，非抗震设计时不宜少于 30%；抗震设计时不宜少于 50%，对于一般平面，令上下层刚度比为 γ：

$$\gamma = \frac{G_{i+1} \times A_{i+1} h_i}{G_i A_i h_{i+1}} \tag{9-10}$$

式中　G_i，G_{i+1}——第 i 层，$i+1$ 层混凝土剪变模量（$G=0.425E$）

A_i，A_{i+1}——第 i 层，$i+1$ 层的折算抗剪截面面积。

$$A = A_W + 0.12A_C$$

A_W——在所计算方向上剪力墙的全部有效截面面积；

A_C——全部柱的截面积；

h_i，h_{i+1}——第 i 层，$i+1$ 层的层高。

在非震区 γ 应尽量接近于 1，不应大于 3；

在抗震设计时，γ 应尽量接近于 1，不应大于 2。

为满足上述要求，可采取以下措施：

1）与建筑协调，争取尽可能多的剪力墙落地必要时也可在别的部位设置补偿剪力墙；

2）加大落地剪力墙的厚度、尽量增大落地墙的截面面积；

3）提高大空间层的混凝土强度等级。

4. 落地剪力墙，尽量不要开洞，或开小洞，以免刚度削弱太大。洞口宜布置在剪力墙的中部。

5. 转换层的设置

由剪力墙结构转换成框支剪力墙结构的大空间层时，其交接层即为转换层。

（1）转换层的结构形式

1）框架结构。不落地剪力墙用柱和梁形成框支梁来支承上面的剪力墙。

2）板柱结构。用厚板及柱来支承上部剪力墙。

3）空腹桁架结构。用空腹桁架及柱来支承上部剪力墙。

4）箱形刚性结构。

（2）框支梁、框支柱的基本要求

1）框支梁的宽度不小于上部剪力墙厚度的2倍。

2）框支梁上部相邻层的墙体非常重要，应力分布复杂，所以这层墙不宜设边门洞，不得在中柱上方开设门洞。

3）框支柱要严格要求，轴压比要比普通柱小些：

抗震等级	一级	二级	三级	四级
轴压比 μ_C	0.6	0.7	0.8	0.8

框支柱与框支梁要加强连接。

柱宽宜与梁同宽或比梁宽每边大50mm，且不小于450mm；断面高度 h_C，不小于柱宽，不小于梁跨的1/12，柱净高与柱截面高度之比大于或等于4。

（3）转换层楼板的要求

1）板厚不得小于180mm。

2）楼板应双层双向配筋，并加强与剪力墙的锚固。

四、框架-剪力墙结构

（一）框架-剪力墙结构的受力特点及适用范围

1. 框架-剪力墙（或称框剪结构），广泛应用于高层办公和公共建筑，也大量应用于高层旅馆建筑。

框架-剪力墙结构是由框架构成自由灵活的使用空间，来满足不同建筑功能的要求；同时又有足够的剪力墙，具有相当大的刚度，从而使结构具有较强的抗震能力，大大减少了建筑物的水平位移，避免填充墙在地震时严重破坏和倒塌。所以在有抗震设计要求时，宜优先采用框剪结构代替框架结构。

2. 框剪结构的受力特点（图9-18）

（1）水平力通过楼板传递分配到剪力墙及框架。

（2）水平力产生的剪力在底部主要由剪力墙承担，因剪力墙在水平力作用时，底部变形小。但到顶部时，剪力主要由框架承担。即框架在顶部时变形较小（图9-19，图9-20）。

（二）框架-剪力墙结构中剪力墙的数量

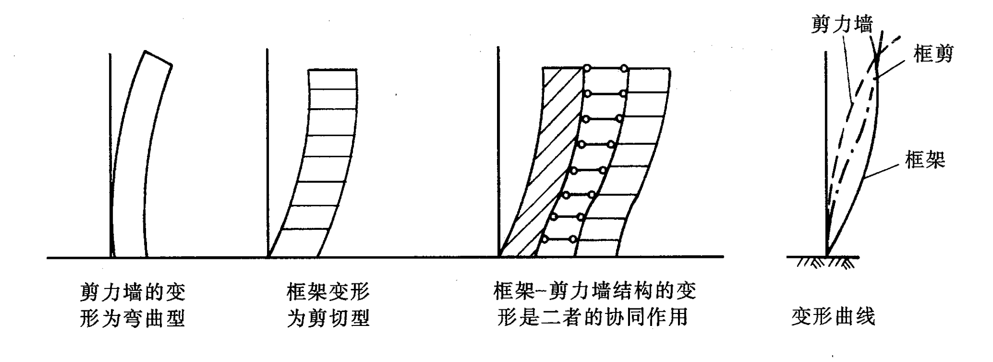


图 9-18

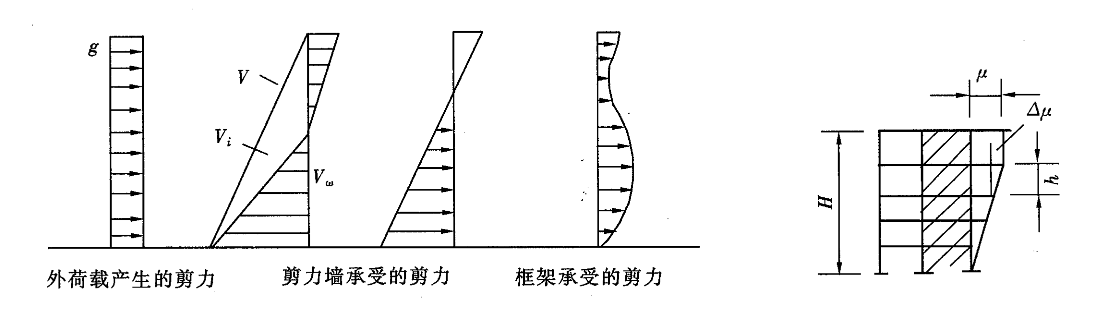


图 9-19

图 9-20 结构水平位移示意图

1. 剪力墙的多少直接影响抗震能力，震害调查发现墙数量增加震害减少，日本福井和十胜冲地震中，钢筋混凝土墙每平方米楼面平均剪力墙长度少于 50mm 时，震害严重，每平方米楼面平均剪力墙长度多于 150mm 时，破坏轻微，甚至无害。

但是剪力墙过多也会造成不经济，因剪力墙增多，结构的刚度增大，周期缩短，地震作用加大，内力增大材料用量增加，基础造价也相应提高。

2. 合理的数量

(1) 按许可位移值决定

按《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010 许可位移的限值来核算结构必要刚度。

一般装修标准的框架-剪力墙结构顶点位移与全高之比 μ/H 不宜大于 1/700；较高装修时，μ/H 不宜超过 1/850，或由层间相对位移与层高之比 $\Delta\mu_{max}/h$ 的限制值来控制。

(2) 用结构自震周期和地震作用来校核

一般较合理的基本自震周期为：

$$T_1 = (0.09 \sim 0.12)n(\text{实际周期 } \varphi_T = 1.0)$$

$$T_1 = (0.06 \sim 0.08)n(\text{实际周期 } \varphi_T = 0.7 \sim 0.8)$$

n 为结构层数

3. 剪力墙的布置

(1) 剪力墙应沿各主要轴线方向布置，矩形，L 形和槽形平面中，沿两个正交轴方向

布置。

（2）应纵横方向同时布置，并使两个方向的自振周期比较接近。

（3）剪力墙的布置原则是：均匀、分散、对称、周边。

（4）宜布置在：竖向荷载较大处、平面形状变化处、楼电梯间处。

（5）不宜在伸缩缝和防震缝两侧同时布置，纵向剪力墙不宜布置在端部，宜布置在中部。

（6）剪力墙的长度不宜太长，总高度与长度之比宜大于 2。单肢墙长度不宜大于 8m，以免剪切破坏。

（7）剪力墙的最大间距（表 9-2）。

剪力墙最大间距表 **表 9-2**

结　构	非抗震	6、7度	8度	9度
现　浇	≤5B且≤60m	≤4B且≤50m	≤3B且≤40m	≤2B且≤30m
装配整体	≤3.5B且≤50m	≤3B且≤40m	≤2.5B且≤30m	

注：B——建筑物的宽度。

剪力墙之间的楼面有较大开洞时剪力墙的间距还应小一些。

实际工程中，剪力墙的间距一般在 2.5B 及 30m 以内。这样的尺寸一般也已可满足建筑功能的要求了。

（8）框剪结构体系中，在设剪力墙后，框架柱应保留，柱作为剪力墙的端部翼缘，可加强剪力墙的承载能力和稳定性，且剪力墙的端部配筋可配置在柱截面内，使剪力墙可一直坚持工作到最后。对比试验表明，取消框架柱后的剪力墙的极限承载力将下降 30%。

（9）位于楼层上的框架梁也应保留，虽然在内力分析时不考虑剪力墙上的框架梁的受力，但梁作为剪力墙的横向加劲肋，也可提高剪力墙的极限承载力。对比试验，无梁的剪力墙极限承载力要降低 10%。当实在无法加梁时，也应设置暗梁，暗梁的高度与明梁相同，纵筋与箍筋均与明梁相同。

（10）剪力墙宜设在框架柱的轴线内，保持对中。不宜设在柱边。

五、筒体结构

当高层建筑结构层数多，高度大时，由平面抗侧力结构所构成的框架，剪力墙和框剪结构已不能满足建筑和结构的要求，而开始采用具有空间受力性能的筒体结构。

筒体结构的基本特征是：水平力主要是由一个或多个空间受力的竖向筒体承受。筒体可以由剪力墙组成，也可以由密柱框筒构成。

（一）筒体结构的类型有

1. 筒中筒结构——由中央剪力墙内筒和周边外框筒组成；框筒由密柱（柱距≤4m）、高梁组成［图 9-21（*a*）］；

2. 筒体-框架结构［图 9-21（*b*）］，亦称框架-核心筒结构，由中央剪力墙核心筒和周边外框架组成；

3. 框筒结构［图 9-21（*c*）］；

4. 多重筒结构［图 9-21（*d*）］；

5. 成束筒结构［图 9-21（*e*）］；

6. 多筒体结构［图 9-21（*f*）］。

（二）筒体结构的受力性能和工作特点（图 9-22）

1. 筒体是空间整截面工作的，如同一竖在地面上的悬臂箱形梁。框筒在水平力作用

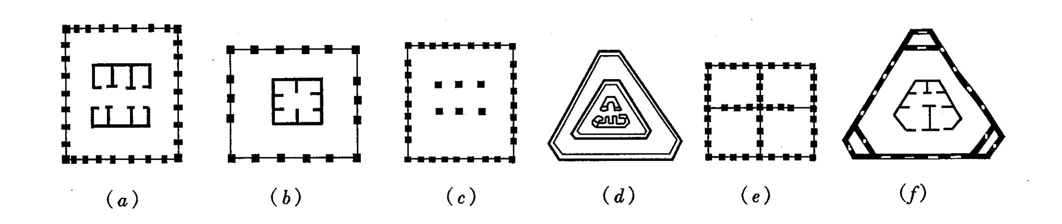


图 9-21 筒体结构的类型

(a) 筒中筒结构；(b) 筒体-框架结构；(c) 框筒结构；(d) 多重筒结构；
(e) 成束筒结构；(f) 多筒体结构

下不仅平行于水平力作用方向上的框架（称为腹板框架）起作用，而且垂直于水平方向上的框架（称为翼缘框架）也共同受力。薄壁筒在水平力作用下更接近于薄壁杆件，产生整体弯曲和扭转。

2. 框筒虽然整体受力，却与理想筒体的受力有明显的差别。理想筒体在水平力作用下，截面保持平面，腹板应力直线分布，翼缘应力相等，而框筒则不保持平截面变形，腹板框架柱的轴力是曲线分布的，翼缘框架柱的轴力也是不均匀分布；靠近角柱的柱子轴力大，远离角柱的柱子的轴力小。这种应力分布不再保持直线规律的现象称为剪力滞后。由于存在这种剪力滞后现象，所以筒体结构不能简单按平面假定进行内力计算。

3. 在筒体结构中，剪力墙筒的截面面积较大，它承受大部分水平剪力，所以柱子承受的剪力很小；而由水平力产生的倾覆力矩，则绝大部分由框筒柱的轴向力所形成的总体弯矩来平衡，剪力墙和柱承受的局部弯矩很小。由于这种整体受力的特点，使框筒和薄壁筒有较高的承载力和侧向刚度，而且比较经济。

深圳国际贸易中心结构平面及弯矩、剪力的分配比例见图 9-23 及表 9-3、表 9-4。

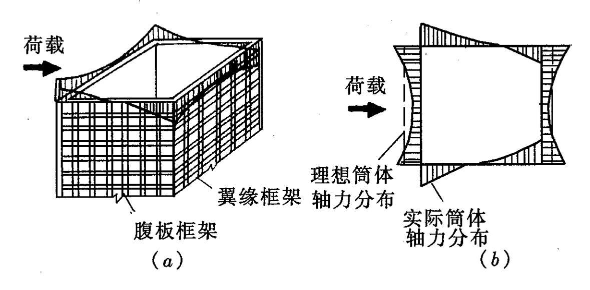


图 9-22 筒体受力特点

(a) 框筒简图；(b) 框筒轴力分析

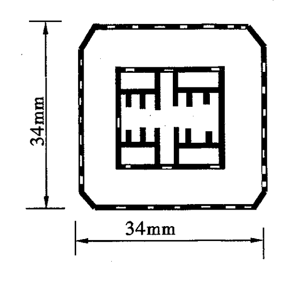


图 9-23 深圳国际贸易中心，50 层，160m

深圳国贸中心一层弯矩分配比例　　表 9-3

由柱及墙肢轴力形成的整体弯矩		由柱及墙肢的弯曲所承担的弯矩	
外框筒	内　筒	外框筒	内　筒
50.4%	40.3%	2.7%	6.6%

深圳国贸中心一层剪力分配比例　　表 9-4

外　　筒	内　　筒
27%	73%

4. 当外围柱子间距较大时，则外围柱子形不成框筒，中央剪力墙内筒往往将承受大部分外力产生的剪力和弯矩，外柱只能作为等效框架，共同承受水平力的作用，水平力在

内筒与外柱之间的分配，类似框剪结构。

5. 成束筒由若干个筒体并联在一起，共同承受水平力，也可以看成是框筒中间加了一框架隔板。其截面应力分布大体上与整截面筒体相似，但出现多波形的剪力滞后现象，这样，它比同样平面的单个框筒受力要均匀一些。

（三）筒体结构布置

1. 以方形圆形平面为好。

2. 可用对称形的三角形或人字形。

3. 外框筒柱的柱距不宜大于 4.0m，外框筒洞口面积不宜大于墙面面积的 60%，洞口高宽比宜与层高和柱距之比值相近。

4. 矩形平面时，长宽比不宜大于 2。

5. 四角的柱子宜适当加大，一般截面加大 1～2 倍。可做成 L 形，八字形。

6. 筒体结构只有在细高的情况下才能近似于竖向悬臂箱形断面梁，发挥其空间整体作用，一般情况下 H/B 不宜小于 3，高度不宜低于 80m（表 9-5）。

7. 由于框筒是空间整体受力，主要内力沿框架平面内分布，所以，框筒宜采用扁宽矩形柱，柱的边长位于框架平面内。也可采用丁字形柱。一般不宜采用圆形柱和方形柱，因为加大框筒柱壁厚对受力和刚度的增大效果远不如加大柱宽有效。

8. 裙梁的截面，宜采用窄而高的梁。梁高一般为 0.6～1.5m，宽度取同墙厚，一般不小于 250mm。梁高 h_b 可取 $h_b \geqslant (1/3 \sim 1/4)l$。

$$h_b \geqslant (0.2 \sim 0.25)h$$

式中 l——柱净距；

h——层高。

各种类型的中央核心筒体系统见图 9-24。

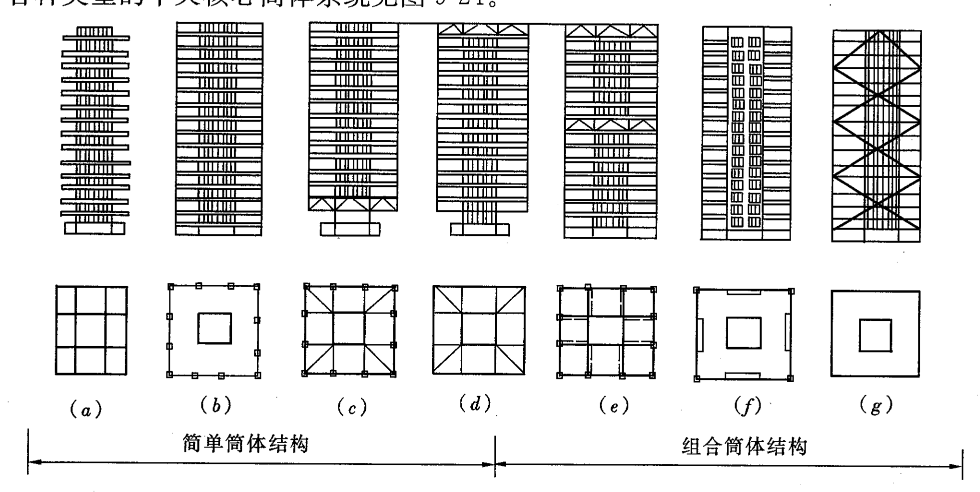


图 9-24 各种类型的中央核心筒体系统

（a）悬挑体系；（b）框架-筒体；（c）下部悬挑；（d）悬挂结构；（e）筒体-水平伸臂刚性层；（f）筒体-外墙；（g）薄壁-桁架筒

框架-筒体结构的平面及计算图形见图 9-25。

成束筒的截面应力分布见图 9-26。

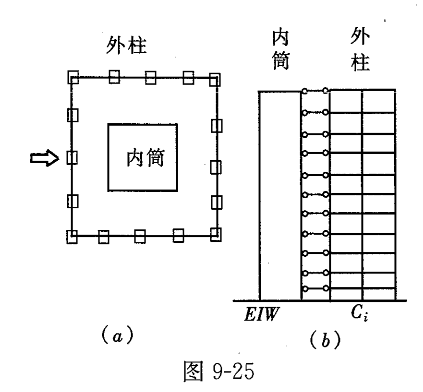


图 9-25

(a) 框架-筒体结构；(b) 计算图形

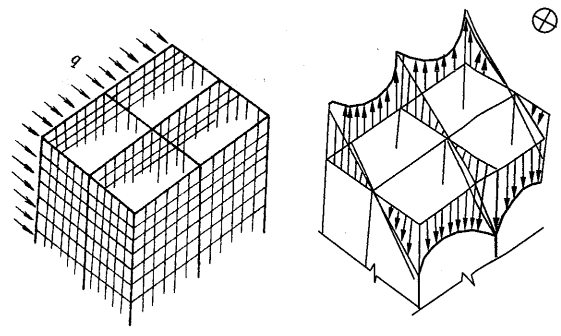


图 9-26　成束筒的截面应力分布

一些筒中筒结构的高宽比 H/B、长宽比 L/B　　**表 9-5**

工　程　名　称	形　状	H (m)	B (m)	L (m)	H/B	L/B
广东国际大厦	矩　形	200	35	37	5.40	1.06
香港华润大厦	矩　形	170	36.4	56.0	4.91	1.62
香港合和中心	圆　形	215.8	44	44	4.90	1.00
中央彩电大楼	矩　形	107	22	44	4.86	2.00
深圳国贸中心	方　形	160	34	34	4.70	1.00
深圳航天大厦	三角形	133	28.3	28.8	4.61	1.00
深圳外贸大厦	椭圆形	135	31	43.1	4.35	1.38
天津大酒店	三角形	107	29.4	29.4	3.69	1.00
上海电讯大楼	矩　形	125	34	54	3.67	1.59
乌鲁木齐电讯楼	方　形	70	20	20	3.50	1.00
石家庄工贸中心	方　形	90.2	25.2	25.2	3.56	1.00
闽南贸易大厦	三角形	101	30.4	30.4	3.32	1.00
北京中国银行大厦	矩　形	86	26	30	3.30	1.15
河北电力中心	圆　形	92.3	28	28	3.29	1.00
天津物资交流中心	八角形	85.8	27.5	27.5	3.12	1.00
长春福寿大厦	圆　形	89.7	29	29	3.09	1.00
中国专利局业务楼	方　形	86	27.6	27.6	2.11	1.00
台北国际贸易中心	方　形	146	50	50	2.92	1.00
北京中信大厦	三角形	109	37.5	27.5	2.90	1.00
深圳四川大厦	矩　形	88.3	31.8	37.5	2.77	1.19
厦门海淀大厦	方　形	89.3	29.3	29.3	3.04	1.00

注：三角形平面的 L、B 均取实际切角后的边长。

9. 内筒的尺寸

一般应争取内筒边长为外筒边长的 1/3 为好。

10. 可以在框筒顶部设置 1～2 层高的刚性环梁来提高整个框筒的空间整体性。

六、钢筋混凝土结构关于伸缩缝、沉降缝、防震缝的要求

（一）伸缩缝

1. 为防止由于温差和混凝土干缩引起钢筋混凝土的开裂，应在结构中设置伸缩缝，

钢筋混凝土结构伸缩缝的最大间距宜符合表 9-6 的规定。

钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距（m） **表 9-6**

结构类别		室内或土中	露天
排架结构	装配式	100	70
框架结构	装配式	75	50
	现浇式	55	35
剪力墙结构	装配式	65	40
	现浇式	45	30
挡土墙、地下室墙壁等类结构	装配式	40	30
	现浇式	30	20

注：①装配整体式结构房屋的伸缩缝间距宜按表中现浇式的数值取用；

②框架-剪力墙结构或框架-核心筒结构房屋的伸缩缝间距可根据结构的具体布置情况取表中框架结构与剪力墙结构之间的数值；

③当屋面无保温或隔热措施时，框架结构、剪力墙结构的伸缩缝间距宜按表中露天栏的数值取用；

④现浇挑檐、雨罩等外露结构的伸缩缝间距不宜大于 12m。

2. 对下列情况，表 9-6 中的伸缩缝最大间距宜适当减小：

（1）柱高（从基础顶面算起）低于 8m 的排架结构；

（2）屋面无保温或隔热措施的排架结构；

（3）位于气候干燥地区、夏季炎热且暴雨频繁地区的结构或经常处于高温作用下的结构；

（4）采用滑模类施工工艺的剪力墙结构；

（5）材料收缩较大、室内结构因施工外露时间较长等。

3. 对下列情况，如有充分依据和可靠措施，表 9-6 中的伸缩缝最大间距可适当增大：

（1）混凝土浇筑采用后浇带分段施工，后浇带的间距 30～40m；后浇带的位置，应设置于温度应力较大的部位，构件受力较小的部位，一般在跨距的 1/3 处；带宽 800～1000mm，钢筋采用搭接接头，后浇带混凝土宜在两个月后浇灌，混凝土强度等级应提高一级。

（2）采用专门的预应力措施。

（3）采用减小混凝土温度变化或收缩的措施。

当增大伸缩缝间距时，尚应考虑温度变化和混凝土收缩对结构的影响。

（二）沉降缝

1. 当建筑物体型比较复杂，地基土比较软弱或压缩性不均匀时，宜根据其平面形状和高度差异情况，在适当部位用沉降缝将其划分成若干个刚度较好的单元；当高度差异或荷载差异较大时，可将两者隔开一定距离，当拉开距离后的两单元必须连接时，应采用能自由沉降的连接构造。

2. 建筑物的下列部位，宜设置沉降缝：

（1）建筑平面的转折部位；

（2）高度差异或荷载差异处；

（3）长高比过大的砌体承重结构或钢筋混凝土框架结构的适当部位；

（4）地基土的压缩性有显著差异处；

（5）建筑结构或基础类型不同处；

（6）分期建造房屋的交界处。

沉降缝应有足够的宽度，缝宽可按表 9-7 选用。

房屋沉降缝的宽度　　表 9-7

房屋层数	沉降缝宽度（mm）
二～三	50～80
四～五	80～120
五层以上	不小于 120

3. 相邻建筑物基础间的净距，可按表 9-8 选用。

相邻建筑物基础间的净距（m）　　表 9-8

被影响建筑的长高比 / 影响建筑的预估平均沉降量 s（mm）	$2.0 \leqslant \frac{L}{H_f} < 3.0$	$3.0 \leqslant \frac{L}{H_f} < 5.0$
70～150	2～3	3～6
160～250	3～6	6～9
260～400	6～9	9～12
>400	9～12	$\geqslant 12$

注：①表中 L 为建筑物长度或沉降缝分隔的单元长度（m）；H_f 为自基础底面标高算起的建筑物高度（m）；
②当被影响建筑的长高比为 $1.5 < L/H_f < 2.0$ 时，其间净距可适当缩小；
③当高层建筑与相连的裙房之间不设置沉降缝时，宜在裙房一侧设置后浇带，其位置宜设在自主楼边柱算起的第二跨内，后浇带宽 800～1000mm，后浇带混凝土的强度等级应提高一级，需根据实测沉降值，并计算后期沉降差，当能满足设计要求后（或主体结构完工后）方可进行浇注。

（三）防震缝

钢筋混凝土房屋宜避免采用《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 第 3.4 节规定的不规则建筑结构方案，不设防震缝；当需要设置防震缝时，应符合下列规定：

1. 防震缝最小宽度应符合下列要求：

（1）框架结构房屋的防震缝宽度，当高度不超过 15m 时可采用 100mm；超过 15m 时，6 度、7 度、8 度和 9 度相应每增加高度 5m、4m、3m 和 2m，宜加宽 20mm。

（2）框架-抗震墙结构房屋的防震缝宽度可采用（1）项规定数值的 70%，抗震墙结构房屋的防震缝宽度可采用（1）项规定数值的 50%；且均不宜小于 100mm。

（3）防震缝两侧结构类型不同时，宜按需要较宽防震缝的结构类型和较低房屋高度确定缝宽。

2. 8、9 度框架结构房屋防震缝两侧结构高度、刚度或层高相差较大时，可在缝两侧房屋的尽端沿全高设置垂直于防震缝的抗撞墙，每一侧抗撞墙的数量不应少于两道，宜分别对称布置，墙肢长度可不大于一个柱距，框架和抗撞墙的内力应按设置和不设置抗撞墙两种情况分别进行分析，并按不利情况取值。防震缝两侧抗撞墙的端柱和框架的边柱，箍筋应沿房屋全高加密。

3. 有抗震设防要求的建筑物，当需要设置伸缩缝或沉降缝时，其缝宽及结构布置均应满足防震缝的要求。

4. 防震缝两侧应形成各自独立的结构单元，即在防震缝处，应设置双柱（双墙）。

5. 防震缝只需设置于上部结构。

第三节　单层厂房的结构体系

一、单层工业厂房的结构形式

（一）单层钢筋混凝土柱厂房：主要承重构件采用钢筋混凝土柱，钢筋混凝土屋架（薄腹梁）或钢屋架。当有吊车时，一般采用钢筋混凝土吊车梁。

（二）单层钢结构厂房：主要承重构件采用钢柱、钢屋架、钢吊车梁。

（三）门式刚架轻工厂房：门式刚架是由柱和梁结合在一起，形状像门字的结构。有钢筋混凝土门式刚架和钢门式刚架二种。其形状如图 9-27。

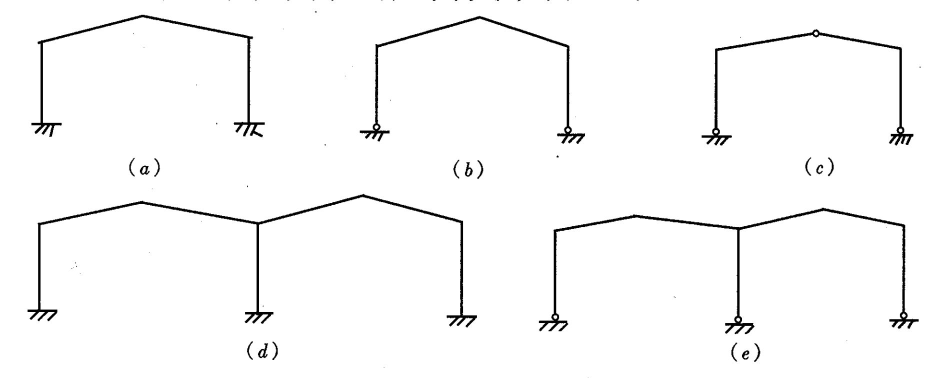


图 9-27　刚架图

(*a*)单跨门式刚架；(*b*)双铰单跨门式刚架；(*c*)三铰单跨门式刚架；(*d*)多跨门式刚架；(*e*)多铰多跨门式刚架

二、单层工业厂房的柱网布置

单层厂房柱子的开间尺寸一般均为 6.0m，当有特殊需要时也可为：9m，12m。厂房的跨度（即柱子的进深间距）一般为：9m，12m，15m，18m，21m，24m，27m，30m等，柱网的尺寸都是 3.0m 的模数。厂房的山墙应布置抗风柱，其间距一般为 6.0m，亦可根据山墙门洞位置，调整确定抗风柱的位置（图 9-28）。

三、单层工业厂房围护墙

单层工业厂房的围护墙，宜采用外贴式的轻质墙体（或砖砌体），即外墙体紧贴柱外皮设置，轻质墙体与柱宜采用柔性连接。

（一）当有抗震设防要求时，单层钢筋混凝土柱厂房的砌体隔墙和围护墙应符合下列要求：

1. 砌体隔墙与柱宜脱开或柔性连接，并应采取措施使墙体稳定，隔墙顶部应设现浇钢筋混凝土压顶梁。

2. 厂房的砌体围护墙宜采用外贴式并与柱可靠拉结；不等高厂房的高跨封墙和纵横向厂房交接处的悬墙采用砌体时，不应直接砌在低跨屋盖上。

3. 砌体围护墙在下列部位应设置现浇钢筋混凝土圈梁：

（1）梯形屋架端部上弦和柱顶的标高处应各设一道，但屋架端部高度不大于 900mm 时可合并设置。

（2）8 度和 9 度时，应按上密下稀的原则，每隔 4m 左右在窗顶增设一道圈梁，不等高厂房的高低跨封墙和纵墙跨交接处的悬墙，圈梁的竖向间距不应大于 3m。

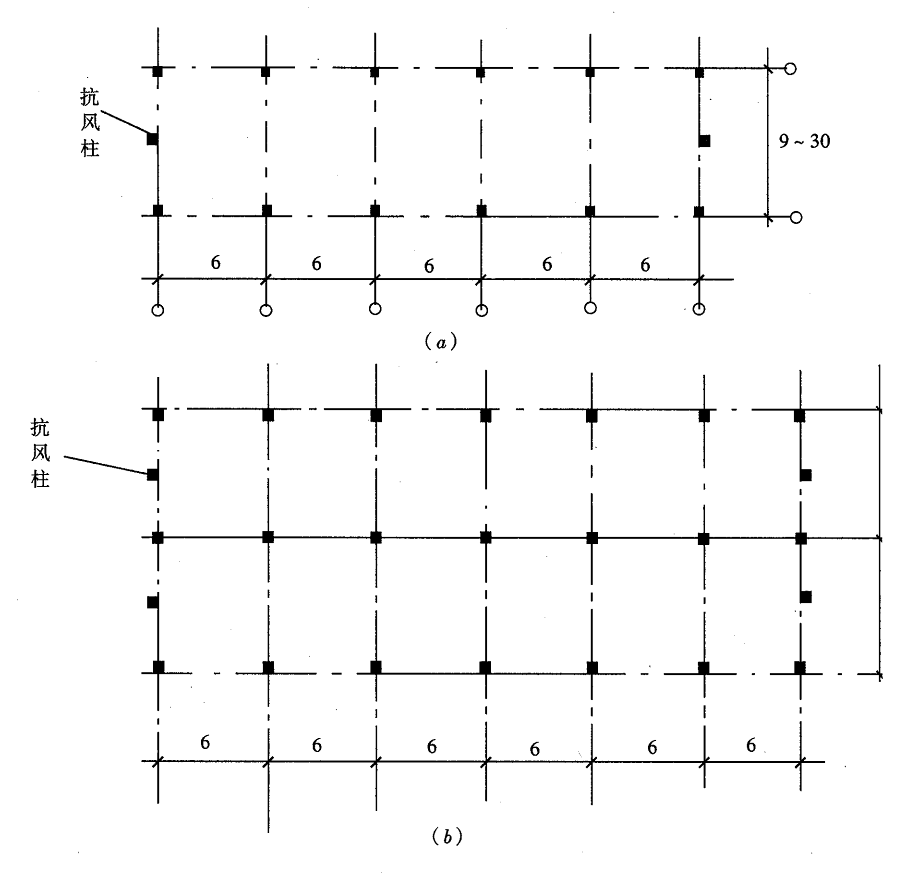


图 9-28　柱网布置示意图（单位：m）
（a）单跨柱网布置示意图；（b）多跨柱网布置示意图

（3）山墙沿屋面应设钢筋混凝土卧梁，并应与屋架端部上弦标高处的圈梁连接。

4. 圈梁的构造应符合下列规定：

（1）圈梁宜闭合，圈梁截面宽度宜与墙厚相同，截面高度不应小于 180mm；圈梁的纵筋，6～8 度时不应少于 4ϕ12，9 度时不应少于 4ϕ14。

（2）厂房转角处柱顶圈梁在端开间范围内的纵筋，6～8 度时不宜少于 4ϕ14，9 度时不宜少于 4ϕ16，转角两侧各 1m 范围内的箍筋直径不宜小于 ϕ8，间距不宜大于 100mm；圈梁转角处应增设不少于 3 根且直径与纵筋相同的水平斜筋。

（3）圈梁应与柱或屋架牢固连接，山墙卧梁应与屋面板拉结；顶部圈梁与柱或屋架连接的锚拉钢筋不宜少于 4ϕ12，且锚固长度不宜少于 35 倍钢筋直径，防震缝处圈梁与柱或屋架的拉结宜加强。

5. 8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度时，砖围护墙下的预制基础梁应采用现浇接头；当另设条形基础时，在柱基础顶面标高处应设置连续的现浇钢筋混凝土圈梁，其配筋不应少于 4ϕ12。

6. 墙梁宜采用现浇，当采用预制墙梁时，梁底应与砖墙顶面牢固拉结并应与柱锚拉；厂房转角处相邻的墙梁，应相互可靠连接。

（二）有抗震设防要求的单层钢结构厂房的砌体围护墙不应采用嵌式，8 度时尚应采取措施，使墙体不妨碍厂房柱列沿纵向的水平位移。

四、单层工业厂房的屋盖结构

（一）组成

一般由屋面梁（或屋架）、屋面板、檩条、托架、天窗架、屋盖支撑系统等组成。

1. 屋面根据材料的不同分为：由轻型板材组成的有檩体系和由大型屋面板（预制）组成的无檩体系。

2. 有檩体系是在屋面梁（或屋架）上铺设檩条，檩条上放置轻型板材而成。檩条的间距 1.0～5.0m，视轻型板材的承载能力而定，支承檩条的屋架间距一般为 6.0～12.0m，屋面坡度为 1/20～1/50。

3. 无檩体系是指在屋面梁或屋架上，直接放置预制大型钢筋混凝土预制板的屋盖。大型屋面板的尺寸一般为 1.5m×6.0m、3.0m×6.0m，屋架间距为 6.0m，屋面坡度为 1/10～1/12。

（二）屋盖支撑系统

1. 屋盖结构的支撑系统，通常由下列支撑组成：

（1）屋架和天窗架的横向支撑；还可分为屋架和天窗架的上弦横向支撑以及屋架下弦横向水平支撑。

（2）屋架的纵向支撑；还可分为屋架上弦纵向支撑和屋架下弦纵向水平支撑。

（3）屋架和天窗架的垂直支撑。

（4）屋架和天窗架的水平系杆；还可分为屋架和天窗架上弦水平系杆以及屋架下弦水平系杆。

所有支撑应与屋架、托架、天窗架和檩条（或大型屋面板）等组成完整的体系。

2. 屋盖结构的支撑形式一般可按以下要求采用：

（1）屋架和天窗架的上弦横向支撑，屋架下弦横向水平支撑和屋架上弦纵向支撑以及屋架下弦纵向水平支撑，一般采用十字交叉的形式（图 9-29）。

（2）屋架和天窗架的垂直支撑，可参考图 9-30(*a*)～(*d*)的形式选用；其中，图 9-30(*c*) 一般用于天窗架两侧的垂直支撑，图 9-30（*d*）为兼作檩条的垂直支撑。

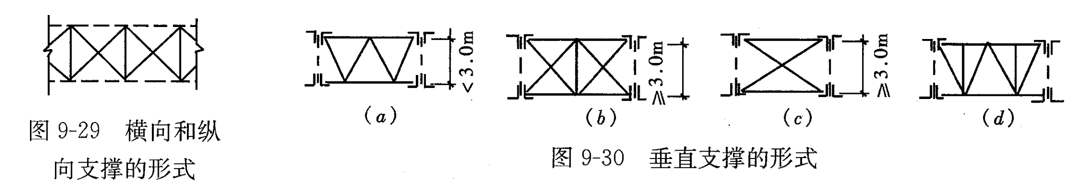


图 9-29　横向和纵向支撑的形式

图 9-30　垂直支撑的形式

（3）屋架和天窗架的水平系杆，包括柔性系杆（拉杆）和刚性系杆（压杆），通常，柔性系杆采用单角钢，刚性系杆采用由两个角钢组成的十字形截面。

在有檩屋盖体系中，檩条可兼作横向支撑的承压杆（刚性杆）。此时，充任支撑承压杆的檩条应计算其所承受的轴心力。

3. 屋盖结构支撑是屋盖结构的一个组成部分，它的作用是将厂房某些局部水平荷载传递给主要承重结构，并保证屋盖结构构件在安装和使用过程中的整体刚度和稳定性。

各种支撑的主要作用如下：

（1）屋架和天窗架上弦横向支撑，主要是保证屋架和天窗架上弦的侧向稳定，当屋架

上弦横向支撑作为山墙抗风柱的支承点时，还能将水平风力或地震水平力传到纵向柱列。

屋架下弦横向水平支撑，当作为山墙抗风柱的支承点时，或当屋架下弦设有悬挂吊车和其他悬挂运输设备时，能将水平风力或悬挂吊车等产生的水平力或地震水平力传到纵向柱列；同时能使下弦杆在动荷载作用下不致产生过大的振动。

（2）屋架的纵向支撑通常和横向支撑构成封闭的支撑体系，加强整个厂房的刚度。屋架下弦纵向水平支撑能使吊车产生的水平力分布到邻近的排架柱上，并承受和传递纵墙墙架柱传来的水平风力或地震水平力。当厂房设有托架时，还能保证托架的平面外稳定。

（3）屋架的垂直支撑及水平系杆主要是保证屋架上弦杆的侧向稳定和缩短屋架下弦杆平面外的计算长度。屋架端部的垂直支撑，承受由屋架横向支撑传来的水平风力或纵向地震水平力；中部的垂直支撑主要是保证安装时屋架位置的正确性。当下弦横向水平支撑和垂直支撑设置在厂房两端或温度伸缩缝区段两端的第二个屋架间时，则第一个屋架间的下弦水平系杆，除能缩短屋架下弦平面外的计算长度外，当山墙抗风柱与屋架下弦连接时，尚有传递山墙水平风力和稳定抗风柱的作用。

（4）天窗架的垂直支撑及水平系杆除了保证天窗架的侧向稳定外，对于天窗架侧立柱处的垂直支撑，还能承受和传递由天窗架上弦横向支撑传来的水平风力和纵向地震水平力；天窗中部的垂直支撑主要是为了安装的需要而设置的。

4. 在进行屋盖结构支撑的布置时，应考虑：厂房的跨度和高度，柱网布置，屋盖结构形式，有无天窗，吊车类型、起重量和工作制，有无振动设备，有无特殊的局部水平荷载等因素。

通常，每一温度伸缩缝区段，或分期建设的工程，应分别设置完整的支撑系统。

5. 在无檩屋盖体系中，当采用宽度为 1.5m 的钢筋混凝土大型屋面板，且大型屋面板与屋架或天窗架的连接均能满足下列要求时，可考虑屋面板能起一定的支撑作用。此时，屋架上弦杆或天窗架上弦杆平面外的计算长度可取两块屋面板的宽度。

（1）每块屋面板与屋架上弦杆或天窗架上弦杆的焊接应保证三点焊牢，在厂房端部或温度伸缩缝处，当不可能焊接三点时，允许沿屋面板纵肋一侧焊接两点。

（2）当屋架间距为 6m 时，每点的焊缝长度不小于 70mm，焊缝厚度不小于 5mm；或焊缝长度不小于 60mm。焊缝厚度不小于 6mm。当屋架间距大于 6m 时，焊缝长度不小于 80mm，焊缝厚度不小于 6mm。

（3）屋面板肋间的空隙，应用 C15～C20 号的细石混凝土灌实。

（4）跨度为 6m 的屋面板的支承长度不小于 60mm；跨度大于 6m 的屋面板的支承长度不小于 80mm。

6. 屋架横向支撑的设置：

屋架横向支撑包括上弦横向水平支撑和下弦横向水平支撑；下弦横向水平支撑一般应与上弦横向支撑设置在同一屋架间内。

在通常情况下，无论是有檩或无檩屋盖体系均应设置屋架上弦横向支撑。

在有檩屋盖体系中，上弦横向支撑中的承压杆（刚性系杆）可采用檩条代替。但此时，充任承压杆的檩条除应符合压杆允许长细比的要求外，还应根据下述两种情况分别求其所承受的轴心力，并取两者中较大者对檩条验算。

一是，当屋架上弦平面内作用有沿房屋纵向的水平荷载时，求作用于檩条的最大轴

心力；

二是，取与刚性系杆（承压檩条）两端相连接的两榀屋架上弦杆的毛截面面积（cm^2）的 20 倍（对于 Q235 钢）或 30 倍（对于 16Mn 钢）作为作用于檩条的轴心力（kN）。

凡属下列情况之一者，一般宜设置屋架下弦横向水平支撑。

（1）屋架跨度不小于 18m 时（轻型钢结构的三铰拱屋架及钢筋混凝土屋架无檩体系除外）；

（2）屋架下弦设有悬挂吊车（或悬挂运输设备），或厂房内设有桥式吊车或振动设备时；

（3）山墙抗风柱支承于屋架下弦时；

（4）采用有弯折下弦的钢屋架时；

（5）当屋架设有通长的下弦纵向水平支撑时。

7. 屋架的上弦横向支撑和下弦横向水平支撑，一般宜设在厂房两端或温度伸缩缝区段两端的第一个屋架间内（图 9-31）或第二个屋架间内。当温度伸缩缝区段的长度大于 66m，小于和等于 96m 时，还应在这个区段中部的屋架上弦和下弦分别增设一道上弦横向支撑和下弦横向水平支撑。

当厂房设有天窗且天窗延伸至厂房两端或通过温度伸缩缝时，屋架上弦横向支撑和下弦横向水平支撑必须设在厂房两端或温度伸缩缝区段两端的第一个屋架间内（图 9-32）。

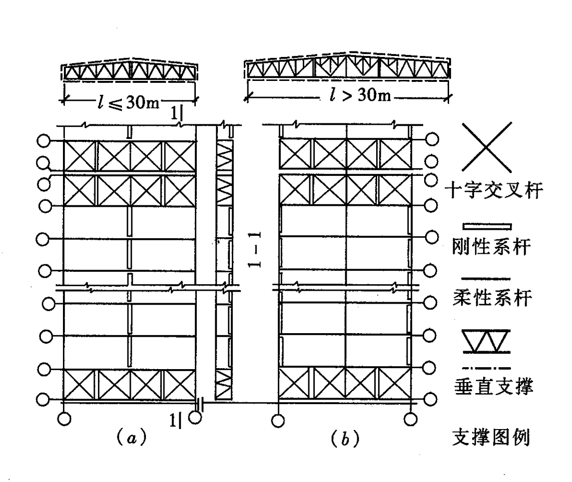


图 9-31　无天窗时的屋架支撑布置图

（a）屋架上弦支撑布置图；（b）屋架下弦支撑布置图

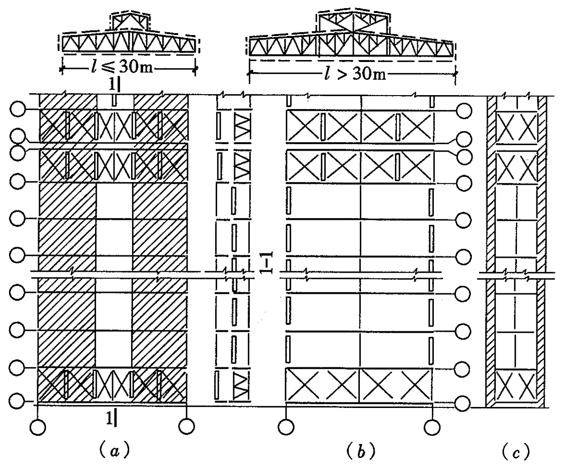


图 9-32　天窗延伸至厂房两端或通过温度伸缩缝时的屋架和天窗架的支撑布置图

（a）屋架上弦支撑布置图；（b）屋架下弦支撑布置图；（c）天窗架上弦支撑布置图

当天窗通至厂房两端或温度伸缩缝区段两端的第二个屋架间时，或当厂房尽端不设置屋架而利用山墙承重时，屋架上弦横向支撑和下弦横向水平支撑一般宜设在厂房两端或温度伸缩缝区段两端的第二个屋架间内（图 9-33）。

8. 屋架下弦设有悬挂吊车（或悬挂运输设备）时，应按下列要求增设下弦横向水平支撑。

（1）当悬挂吊车沿厂房纵向（垂直于屋架跨度方向）运行，且吊车轨道未通至厂房两端和温度伸缩缝区段两端的屋架下弦横向水平支撑时，应在轨道尽端增设屋架下弦横向水平支撑［图 9-34（*a*）］或刚性系杆，并与下弦横向水平支撑相接［图 9-34（*b*）］。

（2）当悬挂吊车沿厂房横向（平行于屋架跨度方向）运行时，应在其两侧的相邻屋架间内增设下弦横向水平支撑和在轨道两端增设水平支撑［图 9-35（*a*）］。

9. 为检修桥式吊车而设的电动葫芦，其轨道梁一般沿平行于屋架跨度方向设置，并通过支承梁与屋架连接，此时宜按图 9-35（*b*）所示增设支承梁顶面的局部水平支撑以及屋架下弦横向水平支撑和垂直支撑。

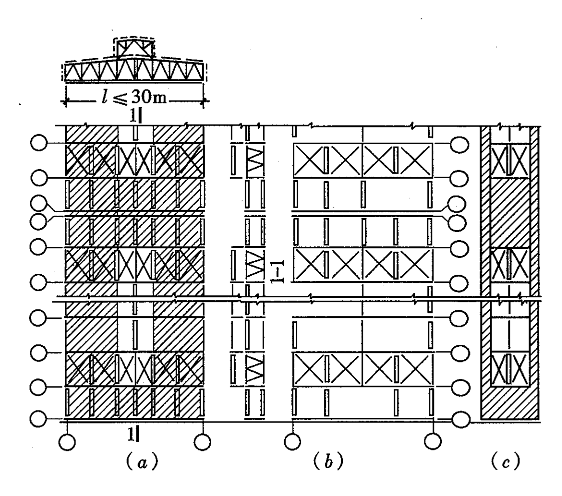


图 9-33　天窗通至厂房两端或温度伸缩缝区段两端的第二个屋架间内时的屋架和天窗架支撑布置图

（*a*）屋架上弦支撑布置图；（*b*）屋架下弦支撑布置图；（*c*）天窗架上弦支撑布置图

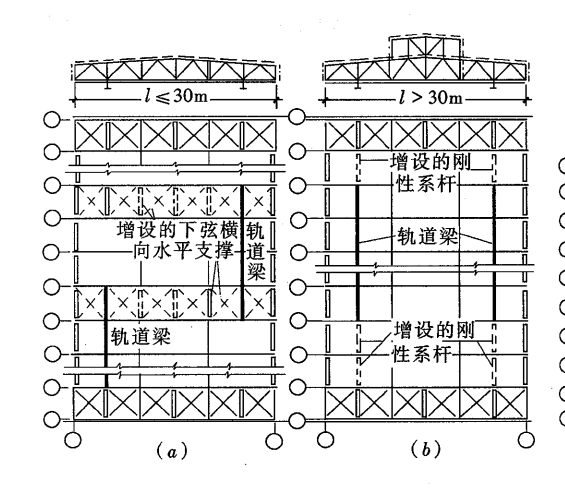


图 9-34　垂直于屋架下弦设有悬挂吊车时屋架下弦支撑的增设示例图

（*a*）增设下弦横向水平支撑的情况；（*b*）增设下弦刚性系杆的情况

图 9-35　屋架间设有悬挂吊车时屋架下弦支撑的增设示例图

（*a*）悬挂吊车平行于屋架跨度方向运行的情况；（*b*）为检修桥式吊车而设电动葫芦的情况

10. 屋架纵向支撑的设置：

屋架纵向支撑的设置与厂房跨数、高度、厂房是否等高，屋盖结构形式，吊车类型、起重量和工作制等因素有关。

屋架纵向支撑除端斜杆为下降式的梯形屋架可在上弦平面设置外，其他形式的屋架均应设在屋架下弦平面，并尽可能与下弦横向水平支撑形成封闭的支撑系统。

通常，在下列情况之一者，宜设置下弦纵向水平支撑：

（1）设有特种桥式吊车（如硬钩、磁力、抓斗、夹钳和刚性料耙等桥式吊车），壁行

吊车或双层吊车的厂房。

（2）设有一般桥式吊车的厂房，当符合表 9-9 的条件时。

屋架下弦纵向水平支撑设置参考表 **表 9-9**

厂房跨数	吊车工作制（吊车工作级别）	吊车吨位			
		当屋架下弦标高为			
		≤15m（有天窗）	≤18m（无天窗）	＞15m（有天窗）	＞18m（无天窗）
单跨	轻、中级（A1～A5）	≥50t		≥30t	
	重　级（A6，A7）	≥15t		≥10t	
等高多跨	轻、中级（A1～A5）	≥75t		≥50t	
	重　级（A6，A7）	≥20t		≥15t	

注：对于不等高多跨厂房，屋架下弦纵向水平支撑的设置，亦可根据其高跨的相连跨数和低跨的相连跨数，参照表中之单跨和等高多跨的情况来确定。

（3）厂房内设有较大振动设备（如不少于 5.0t 的锻锤、重型水压机或锻压机、铸件水爆池及其他类似的振动设备）时。

（4）当屋架采用托架支承时。

（5）在厂房排架柱之间设有墙架柱且墙架柱以下弦纵向水平支撑为支承点时。

（6）在厂房排架计算中考虑空间工作时。

11. 屋架下弦纵向水平支撑的设置，应根据具体情况，沿所有纵向柱列，或部分纵向柱列设在屋架下弦的端部节间内。设置时，可参考下列要求确定：

（1）单跨和等高双跨厂房的屋架下弦纵向水平支撑，应分别沿两侧边列柱设置（图 9-36和图 9-37）。

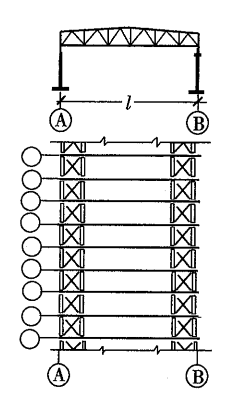


图 9-36　单跨厂房屋架下弦纵向水平支撑布置图

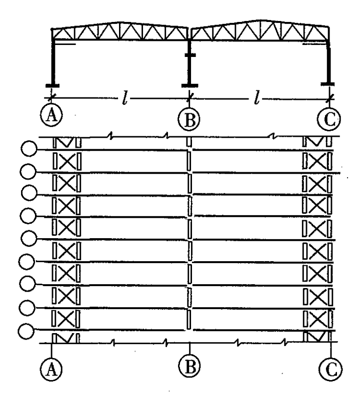


图 9-37　等高双跨厂房屋架下弦纵向水平支撑布置图

（2）等高三跨以上厂房屋架下弦纵向水平支撑除沿两侧边列柱设置外，通常可沿中列柱的一侧设置，亦可沿中列柱之两侧作对称式设置（图 9-38 和图 9-39）。

（3）对于不等高多跨厂房屋架下弦纵向水平支撑的设置，可根据其高跨的相连跨数和低跨的相连跨数分别按上述要求确定。

（4）只要设有托架，都必须在设有托架的柱间布置屋架下弦纵向水平支撑；当只在局部柱间设有托架时，可仅在设有托架的柱间及其两端相邻的柱间设置屋架下弦纵向水平支撑（图 9-40）。

（5）设有重级工作制且起重量较大的吊车的厂房，以及设有特种吊车的厂房，其屋架

下弦纵向水平支撑应设置得较密一些，其密集程度应视厂房的跨度、高度和跨数，以及吊车的起重量和工作制等情况决定。

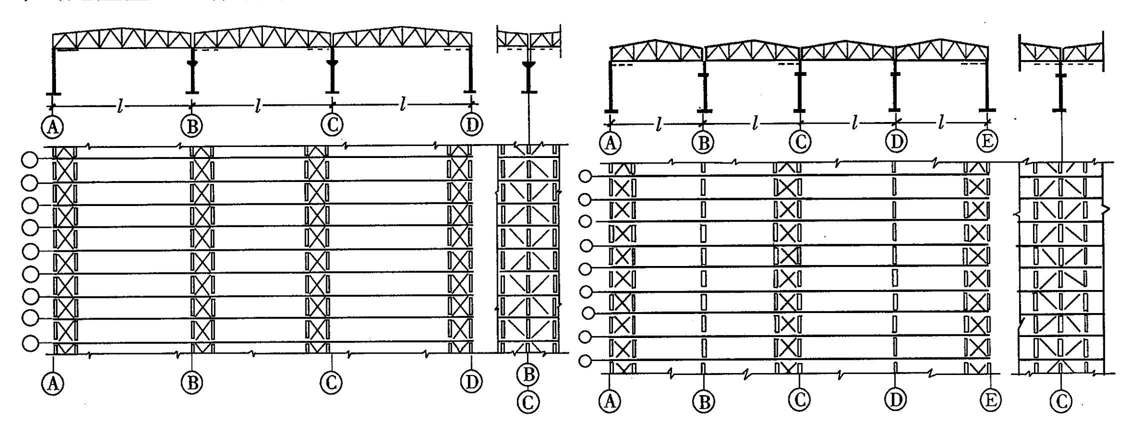


图 9-38 等高三跨厂房屋架下弦纵向水平支撑布置图

图 9-39 等高四跨厂房屋架下弦纵向水平支撑布置图

12. 屋架垂直支撑和水平系杆的设置：

屋架垂直支撑应设置在设有横向支撑的屋架间内，并按下列要求确定。

（1）梯形屋架和平行弦屋架，除在屋架两端各设一道垂直支撑外，尚应在屋架中部按下述情况予以设置：

当屋架跨度不大于 30m 时，无论有无天窗，尚应在屋架中央竖杆平面内增设一道垂直支撑（图 9-31～图 9-33）。

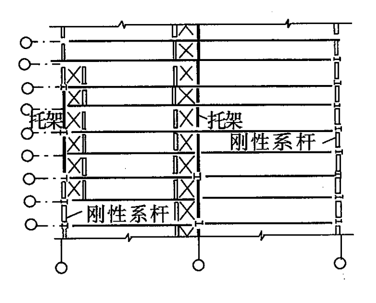


图 9-40 设有托架时的屋架下弦纵向水平支撑布置图

当屋架跨度大于 30m 且无天窗时，尚应在跨度 1/3 左右的竖杆平面内各增设一道垂直支撑（图 9-31）。

当屋架跨度大于 30m 且有天窗时，尚应在天窗侧立柱下的屋架竖杆平面内各增设一道垂直支撑（图 9-32）。

（2）三角形屋架跨中垂直支撑，当跨度不大于 18m 时，应在屋架中央竖杆平面内设置一道。当跨度大于 18m 时，可根据具体情况设置两道（图 9-41）。

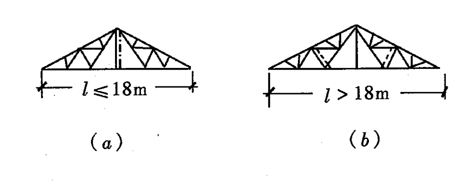


图 9-41 三角形屋架的垂直支撑布置图

13. 当厂房内设有不小于 3.0t 锻锤或类似的振动设备时，应在设有锻锤的跨间及其以锻锤为中心的 30m 范围的屋架间，在设有一般垂直支撑的竖直平面内，每隔一个屋架间距增设一道垂直支撑。

14. 一般情况，无檩屋盖体系的厂房，应在未设置垂直支撑的屋架间，相应于垂直支撑平面的屋架之上弦和下弦节点处设置通长的水平系杆。对于有檩屋盖体系，屋架上弦的水平系杆一般可用檩条代替，此时仅在相应的屋架下弦节点处设置通长的水平系杆（图 9-31～图 9-33）。

当屋架跨度大于 30m 且又设有天窗之无檩屋盖体系的厂房，尚应在上弦屋脊节点处，

增设一道水平系杆。

凡设在屋架端部主要支承节点处和屋架上弦屋脊节点处的通长水平系杆，均应采用刚性系杆（压杆），其余均采用柔性系杆（拉杆）（图 9-31～图 9-33）。但当屋架横向支撑设在厂房两端或温度伸缩缝区段两端的第二个屋架间时，则在第一个屋架间的所有系杆也应采用刚性系杆（图 9-33）。当屋架端部主要支承节点处有托架弦杆或设有钢筋混凝土圈梁或连系梁时，可以此代替刚性系杆。

此外，符合下列情况的屋架，其下弦水平系杆，尚应按以下要求设置：

（1）有弯折下弦的屋架，宜在下弦弯折处设置通长的柔性系杆，并与下弦横向水平支撑相接。

（2）与柱刚接且未设下弦纵向水平支撑的屋架，当下弦端部节间受压时，应在下弦端部节间的节点处设置通长的刚性系杆，并与下弦横向水平支撑相接。

（3）三角形的芬克式屋架，当跨度大于 18m 时，宜在主斜杆与下弦的连接节点处设置通长的柔性系杆，但此时水平系杆的设置仍应与屋架的垂直支撑相协调。

15. 设有横向下沉式天窗或井式天窗的屋盖，仍可按上述原则设置支撑。但鉴于横向下沉式天窗或井式天窗把钢筋混凝土大型屋面板或檩条在纵向分成井上和井下两部分，致使上弦屋面在厂房纵向断开，削弱了厂房的空间刚度。因此，设计时还应采取适当措施以加强井上段的水平系杆刚度，使断续相间的上弦屋面具有足够的整体刚度。建议：

（1）在横向下沉式或井式天窗范围内，相应于屋架上弦横向支撑的每个节点均宜设置刚性系杆，且该系杆由自重产生的最大挠度一般不宜大于其跨度的 1/200。

（2）鉴于系杆挠度仅产生在垂直方向，因此，对跨度较大的系杆可在其垂直平面内增设斜撑（图 9-42）。

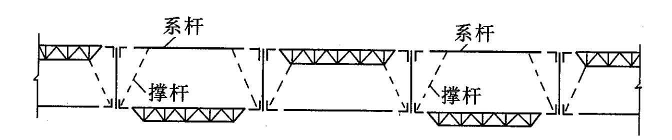


图 9-42　垂直平面内增设支撑示意

（3）当屋架间距为 12m 时，井上段的水平系杆，宜采用空间桁架式系杆。

在横向下沉式或井式天窗的范围内，当屋架上弦或下弦节点处设有与横向支撑相连通的纵向横梁（或连系梁）或檩条时，可以此代替水平系杆。

16. 天窗架支撑的设置：

（1）天窗架的支撑包括天窗架上弦横向支撑，垂直支撑和水平系杆。

天窗架的支撑设置应与屋架上弦横向支撑，垂直支撑和水平系杆相协调，尽可能地设置在同一屋架间内。

无论是无檩屋盖体系或是有檩屋盖体系，均应在天窗两端或温度伸缩缝区段两端的第一个天窗架间设置上弦横向支撑（图 9-32、图 9-33）。当温度伸缩缝区段的长度大于 66m、小于或等于 96m 时，还应在这个区段中部的天窗架上弦增设一道上弦横向支撑。

（2）无论天窗架的跨度大小，均应在设有上弦横向支撑的天窗架间，天窗两侧侧立柱的竖直平面内各设置一道垂直支撑（图 9-32、图 9-33）。当天窗架跨度不小于 12mm 时，

尚应在天窗架中央竖杆平面内增设一道垂直支撑。

当厂房设有大于1t的锻锤或类似的振动设备时，应在锻锤跨度内的天窗两侧增设一道垂直支撑。

（3）有檩屋盖体系的天窗架，其上弦水平系杆一般可用檩条代替。

在无檩屋盖体系中，无论天窗架的跨度大小，在上弦屋脊节点处，在未设有上弦横向支撑的天窗架间均应设置柔性系杆（图9-32、图9-33）。当天窗设有窗扇时，则天窗架两侧的上弦水平系杆一般可用侧窗横档代替；但是，不设窗扇（开敞式）且未设有其他纵向构件时，在两侧的上弦端节点处，未设置垂直支撑的天窗架间，均应设置柔性系杆。

17. 有抗震设防要求时，有檩屋盖构件的连接及支撑布置应符合下列要求：

（1）檩条应与混凝土屋架（屋面梁）焊牢，并应有足够的支承长度。

（2）双脊檩应在跨度1/3处相互拉结。

（3）压型钢板应与檩条可靠连接，瓦楞铁、石棉瓦等应与檩条拉结。

（4）支撑布置宜符合表9-10的要求。

18. 有抗震设防要求时，无檩屋盖构件的连接及支撑布置，应符合下列要求：

（1）大型屋面板应与屋架（屋面梁）焊牢，靠柱列的屋面板与屋架（屋面梁）的连接焊缝长度不宜小于80mm。

（2）6度和7度时，有天窗厂房单元的端开间，或8度和9度时各开间，宜将垂直屋架方向两侧相邻的大型屋面板的顶面彼此焊牢。

（3）8度和9度时，大型屋面板端头底面的预埋件宜采用角钢并与主筋焊牢。

（4）非标准屋面板宜采用装配整体式接头，或将板四角切掉后与屋架（屋面梁）焊牢。

有檩屋盖的支撑布置 **表9-10**

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">支撑名称</th><th colspan="3">烈度</th></tr>
<tr><th>6、7</th><th>8</th><th>9</th></tr>
<tr><td rowspan="4">屋架支撑</td><td>上弦横向支撑</td><td>厂房单元端开间各设一道</td><td>厂房单元端开间及厂房单元长度大于66m的柱间支撑开间各设一道
天窗开洞范围的两端各增设局部的支撑一道</td><td rowspan="3">厂房单元端开间及厂房单元长度大于42m的柱间支撑开间各设一道
天窗开洞范围的两端各增设局部的上弦横向支撑一道</td></tr>
<tr><td>下弦横向支撑</td><td colspan="2" rowspan="2">同非抗震设计</td></tr>
<tr><td>跨中竖向支撑</td></tr>
<tr><td>端部竖向支撑</td><td colspan="3">屋架端部高度大于900mm时，厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道</td></tr>
<tr><td rowspan="2">天窗架支撑</td><td>上弦横向支撑</td><td>厂房单元天窗端开间各设一道</td><td rowspan="2">厂房单元天窗端开间及每隔30m各设一道</td><td rowspan="2">厂房单元天窗端开间及每隔18m各设一道</td></tr>
<tr><td>两侧竖向支撑</td><td>厂房单元天窗端开间及每隔36m各设一道</td></tr>
</table>

（5）屋架（屋面梁）端部顶面预埋件的锚筋，8度时不宜少于4ϕ10，9度时不宜少于4ϕ12。

（6）支撑的布置宜符合表 9-11 的要求，有中间井式天窗时宜符合表 9-12 的要求；8 度和 9 度跨度不大于 15m 的屋面梁屋盖，可仅在厂房单元两端各设竖向支撑一道。

无檩屋盖的支撑布置　　　　表 9-11

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">支　撑　名　称</th><th colspan="3">烈　　度</th></tr>
<tr><th>6、7</th><th>8</th><th>9</th></tr>
<tr><td rowspan="8">屋架支撑</td><td colspan="2">上弦横向支撑</td><td>屋架跨度小于 18m 时同非抗震设计，跨度不小于 18m 时在厂房单元端开间各设一道</td><td colspan="2">厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道，天窗开洞范围的两端各增设局部的支撑一道</td></tr>
<tr><td colspan="2">上弦通长水平系杆</td><td rowspan="4">同非抗震设计</td><td>沿屋架跨度不大于 15m 设一道，但装配整体式屋面可不设
围护墙在屋架上弦高度有现浇圈梁时，其端部处可不另设</td><td>沿屋架跨度不大于 12m 设一道，但装配整体式屋面可不设
围护墙在屋架上弦高度有现浇圈梁时，其端部处可不另设</td></tr>
<tr><td colspan="2">下弦横向支撑</td><td rowspan="2">同非抗震设计</td><td rowspan="2">同上弦横向支撑</td></tr>
<tr><td colspan="2">跨中竖向支撑</td></tr>
<tr><td rowspan="2">两端竖向支撑</td><td>屋架端部高度 ≤900mm</td><td>厂房单元端开间各设一道</td><td>厂房单元端开间及每隔 48m 各设一道</td></tr>
<tr><td>屋架端部高度 >900mm</td><td>厂房单元端开间各设一道</td><td>厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道</td><td>厂房单元端开间、柱间支撑开间及每隔 30m 各设一道</td></tr>
<tr><td colspan="2">天窗两侧竖向支撑</td><td>厂房单元天窗端开间及每隔 30m 各设一道</td><td>厂房单元天窗端开间及每隔 24m 各设一道</td><td>厂房单元天窗端开间及每隔 18m 各设一道</td></tr>
<tr><td colspan="2">上弦横向支撑</td><td>同非抗震设计</td><td>天窗跨度≥9m 时，厂房单元天窗端开间及柱间支撑开间各设一道</td><td>厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道</td></tr>
</table>

中间井式天窗无檩屋盖支撑布置　　　　表 9-12

<table>
<tr><th colspan="2">支　撑　名　称</th><th>6、7 度</th><th>8 度</th><th>9 度</th></tr>
<tr><td colspan="2">上弦横向支撑
下弦横向支撑</td><td>厂房单元端开间各设一道</td><td colspan="2">厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道</td></tr>
<tr><td colspan="2">上弦通长水平系杆</td><td colspan="3">天窗范围内屋架跨中上弦节点处设置</td></tr>
<tr><td colspan="2">下弦通长水平系杆</td><td colspan="3">天窗两侧及天窗范围内屋架下弦节点处设置</td></tr>
<tr><td colspan="2">跨中竖向支撑</td><td colspan="3">有上弦横向支撑开间设置，位置与下弦通长系杆相对应</td></tr>
<tr><td rowspan="2">两端竖向支撑</td><td>屋架端部高度 ≤900mm</td><td colspan="2">同非抗震设计</td><td>有上弦横向支撑开间，且间距不大于 48m</td></tr>
<tr><td>屋架端部高度 >900mm</td><td>厂房单元端开间各设一道</td><td>有上弦横向支撑开间，且间距不大于 48m</td><td>有上弦横向支撑开间，且间距不大于 30m</td></tr>
</table>

19. 有抗震设防要求的屋盖支撑尚应符合下列要求：

（1）天窗开洞范围内，在屋架脊点处应设上弦通长水平压杆。

（2）屋架跨中竖向支撑在跨度方向的间距，6～8 度时不大于 15m，9 度时不大于 12m；

当仅在跨中设一道时，应设在跨中屋架屋脊处；当设两道时，应在跨度方向均匀布置。

(3) 屋架上、下弦通长水平系杆与竖向支撑宜配合设置。

(4) 柱距不小于12m且屋架间距6m的厂房，托架（梁）区段及其相邻开间应设下弦纵向水平支撑。

(5) 屋盖支撑杆件宜用型钢。

五、单层厂房的柱间支撑

(一) 柱间支撑的基本知识

1. 为确保厂房承重结构的正常工作，应沿厂房纵向在柱子之间设置柱间支撑，其作用是：

(1) 用以保证厂房的纵向稳定与空间刚度；

(2) 决定柱在排架平面外的计算长度；

(3) 承受厂房端部山墙风力、吊车纵向水平荷载及温度应力等，在地震区，还将承受厂房纵向地震力，并传至基础。

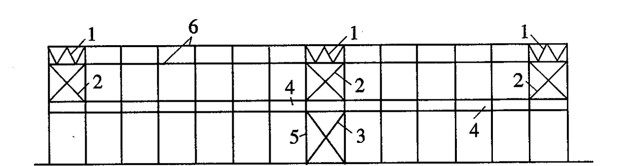


图 9-43　柱间支撑的组成

1—屋架端部垂直支撑；2—上段柱支撑；3—下段柱支撑；4—吊车梁（或辅助桁架）；5—柱子；6—屋架端部上、下弦水平系杆

2. 柱间支撑由以下各部分组成（图 9-43）：

(1) 在吊车梁以上至屋架下弦间设置的上段柱的柱间支撑，以及当为双阶柱时在上下两层吊车梁之间设置的中段柱的柱间支撑；

(2) 在吊车梁以下至柱脚处设置的下段柱的柱间支撑。

屋架端部垂直支撑及屋架上、下弦水平处的纵向系杆、吊车梁及辅助桁架、柱子本身等也是柱间支撑体系的组成部分。

3. 柱间支撑按构造主要分为下列形式：

(1) 十字形交叉支撑图 9-43 和图 9-44（*d*）、（*e*）；

(2) 空腹式门形支撑图 9-44（*a*）、（*b*）；

(3) 实腹式门形支撑图 9-44（*c*）；

(4) 八字形支撑图 9-44（*a*）；

(5) 人字形支撑图 9-44（*c*）；

(6) 十字形交叉支撑由于构造简单，传力直接，用料省，并且刚度较大，所以是常用的一种形式。门形支撑由于构造较复杂，用料较多且刚度较差（如空腹式门形支撑），所以只在特殊需要时采用。

对于上段柱的柱间支撑，当柱距 l 与柱间支撑的高度 h_1 之比 $\frac{l}{h_1}\geqslant 2$ 时，宜采用人字形支撑；当 $\frac{l}{h_1}\geqslant 2.5$ 时，宜采用八字形支撑。

对于下段柱的柱间支撑，当高而不宽，其 $\frac{l}{h_2}\approx\frac{1}{2}$ 时，可采用两道十字形交叉支撑，如图 9-44（*e*）所示。当受生产工艺和设备布置限制，不能采用十字形交叉支撑时，则可

采用门形支撑。此时宜采用图 9-44（b）的形式，这种空腹式门形支撑中的主要杆件均为受拉杆件，构件截面较小，比图 9-44（a）的形式经济合理。

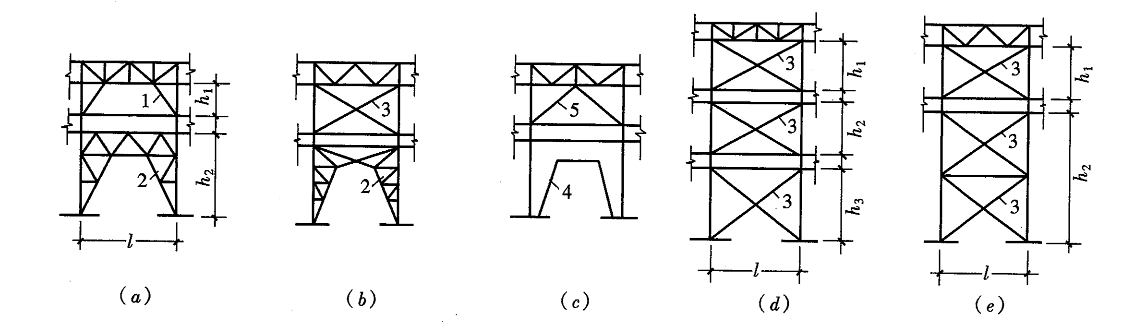


图 9-44　柱间支撑的形式

1—八字形支撑；2—空腹式门形支撑；3—十字形交叉支撑；4—实腹式门形支撑；5—人字形支撑

实腹式门形支撑图 9-44（c）与空腹式门形支撑相比，其刚度较大，但耗钢量多，制作安装工作量较大，所以仅当重型、特重型厂房刚度要求高，且下段柱的柱间支撑必须设门形支撑时方可采用。

双阶柱之中段柱的柱间支撑，一般可按上段柱的柱间支撑的设计原则考虑。

（二）柱间支撑的布置原则

1. 布置柱间支撑时应满足下列要求：

（1）柱间支撑的布置应满足生产净空的要求；

（2）柱间支撑的布置除满足纵向刚度要求外，还应考虑柱间支撑的设置对厂房结构温度变形的影响及由此而产生的附加应力；

（3）柱间支撑的设置位置应与屋盖支撑的布置相协调；

（4）每一温度区段的每一列柱，一般均应设置柱间支撑。

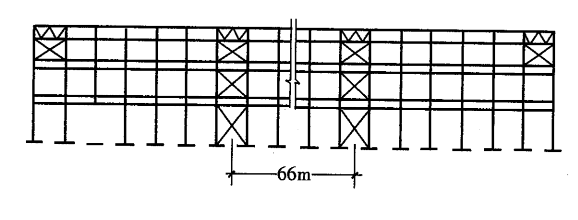


图 9-45　柱间支撑布置图

2. 下段柱柱间支撑的位置，决定纵向结构温度变形的方向和附加温度应力的大小，因此，应尽可能设在温度区段的中部。当温度区段的长度不大时，可在温度区段中部设置一道下段柱柱间支撑（图 9-43）；当温度区段长度大于 120m 时，为保证厂房的纵向刚度，应在温度区段内设置两道下段柱柱间支撑，其位置应尽可能布置在温度区段中间 1/3 范围内，两道支撑间的距离不宜大于 66m，如图 9-45 所示，以减少由此而产生的温度应力。

3. 上段柱的柱间支撑除在有下段柱柱间支撑的柱间布置外，为了传递端部山墙风力，满足结构安装要求，提高厂房结构上部的纵向刚度，应在温度区段两端布置上段柱柱间支撑，如图 9-43 和图 9-45 所示。温度区段两端的上段柱柱间支撑对温度应力的影响很小，可忽略不计。

4. 阶形柱之下段柱的柱间支撑，一般在两个柱肢内成对设置，即为双片支撑。当为等截面柱且截面高度不大于 600mm 时，可沿柱之中心线设单片支撑，否则亦应沿柱子的

两翼缘设双片支撑，如图 9-46 所示。

5. 阶形柱上段柱的柱间支撑在柱侧向的位置（图 9-46），当上段柱的截面高度不大于 1000mm 时，一般设单片支撑，并沿柱中心线与柱连接；当有托架时，支撑位置应与托架位置相协调；如上段柱设有通行人孔且只设单片支撑时，应考虑让开通道将支撑移向一侧。

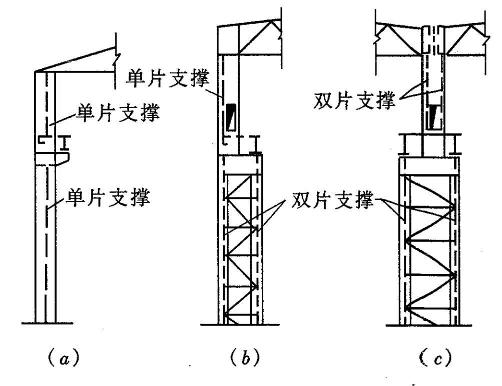


图 9-46　柱间支撑在柱侧向的位置图

当上段柱的截面高度大于 1000mm 时，或在上段柱设有人孔，而刚度要求较高时，一般宜设置双片支撑，并沿柱子的两翼缘内侧与柱连接（注意不应影响柱内侧与吊车桥架之间的净空）。

双阶柱之中段柱一般设置双片柱间支撑。当设有通行人孔时，双片支撑间的连系杆布置，应以不妨碍通行为原则。

6. 当有抗震设防要求时，厂房柱间支撑的设置和构造，应符合下列要求：

（1）厂房柱间支撑的布置，应符合下列规定：

1）一般情况下，应在厂房单元中部设置上、下柱间支撑，且下柱支撑应与上柱支撑配套设置；

2）有吊车或 8 度和 9 度时，宜在厂房单元两端增设上柱支撑；

3）厂房单元较长或 8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度时，可在厂房单元中部 1/3 区段内设置两道柱间支撑。

（2）柱间支撑应采用型钢，支撑形式宜采用交叉式，其斜杆与水平面的交角不宜大于 55°。

（3）支撑杆件的长细比，不宜超过表 9-13 的规定。

交叉支撑斜杆的最大长细比　　**表 9-13**

位　置	烈　度			
	6 度和 7 度 Ⅰ、Ⅱ类场地	7 度Ⅲ、Ⅳ类 场地和 8 度 Ⅰ、Ⅱ类场地	8 度Ⅲ、Ⅳ 类场地和 9 度 Ⅰ、Ⅱ类场地	9 度Ⅲ、Ⅳ 类场地
上柱支撑	250	250	200	150
下柱支撑	200	200	150	150

（4）下柱支撑的下节点位置和构造措施，应保证将地震作用直接传给基础；当 6 度和 7 度不能直接传给基础时，应计及支撑对柱和基础的不利影响。

（5）交叉支撑在交叉点应设置节点板，其厚度不应小于 10mm，斜杆与交叉节点板应焊接，与端节点板宜焊接。

7. 8 度时跨度不小于 18m 的多跨厂房中柱和 9 度时多跨厂房各柱，柱顶宜设置通长水平压杆，此压杆可与梯形屋架支座处通长水平系杆合并设置，钢筋混凝土系杆端头与屋架间的空隙应采用混凝土填实。

六、门式刚架的屋盖支撑布置及柱间支撑布置

（一）屋盖支撑

一般在每个温度区段，须在两端第一开间或第二开间设置横向水平支撑；当在第二开间设置横向水平支撑时，应在第一开间相应位置设置刚性系杆；在横向交叉支撑之间应设刚性系杆，以组成几何不变体系。

（二）柱间支撑

1. 在每个温度区段的第一个开间或第二个开间设置柱间支撑。并应与屋盖支撑同一开间。

2. 柱间支撑的间距一般取 36～45m。

3. 当房屋高度较大时，柱间支撑应分层设置，并加设水平压杆。

4. 当房屋内有吊车梁时，柱间支撑应分层设置，吊车梁以上的上部支撑应设置在端开间，并在中间或三分点处同时设置上、下部柱间支撑。

5. 当边柱桥式吊车起重量大于或等于 10t 时，下柱支撑宜设两片，吊车起重量较小时，下部柱间支撑可设置单片。

6. 在边柱柱顶，屋脊以及多跨门式刚架中间柱柱顶应沿房屋全长设置刚性系杆。

7. 多跨门式刚架的内柱应设置柱间支撑。

（三）支撑的构造要求

1. 支撑一般采用圆钢或型钢，当房屋中设有桥式或梁式吊车时，支撑宜采用型钢支撑。圆钢支撑宜配置花篮螺钉或做成可张紧装置。支撑与构件间的夹角在 30°～60°范围。

2. 檩条可兼作刚性系杆，其长细比应符合压杆 $\lambda \leqslant 200$ 的长细比要求，并应满足压弯杆件的承载力要求，但经验算强度不满足要求时，应另设置刚性系杆。

3. 应在设有托梁或托架的开间两端与托梁两端相邻的开间斜梁两端设置纵向水平支撑。

4. 当房屋中不允许设置柱间支撑时，应设置纵向框架支撑。

（四）门式刚架屋面的檩条布置（要求同单层厂房）

第四节　木屋盖的结构形式与布置

一、概述

1. 木屋盖结构是指用木梁或木屋架（桁架）、檩条（木檩或钢檩），木望板及屋面防水材料等组成的屋盖。

2. 木屋盖根据房屋的情况，可用于单层空旷房屋的屋盖，也可用于多层房屋的屋盖。

（1）单层空旷房屋的木屋盖结构的特点是：

1）跨度较大（一般为 9～15m），主要受弯构件采用木屋架（桁架）。

2）屋盖结构中屋架（桁架）的支点一般为：钢筋混凝土柱、砌体墙（墙垛、砖柱）。

（2）多层房屋的木屋盖一般用于多层砌体房屋的屋顶，屋盖中的主要受弯构件为木梁（跨度≤6.0m）或檩条，这些受弯构件的支点为砌体墙；当檩条直接搭在墙上时，俗称硬山搁檩。

二、桁架和木梁的一般规定

1. 木材宜用作受压或受弯构件，在作为屋架时，受拉杆件宜采用钢材（如：屋架下

弦及受拉竖杆），当采用木下弦时，对于原木，其跨度不宜大于 15m；对于方木不应大于 12m。采用钢下弦，其跨度可适当加大，但一般不宜大于 18m。

2. 受弯构件采用木梁时，其跨度一般不大于 6.0m，超过 6.0m 时，宜采用桁架（屋架）。

3. 桁架或木梁的间距：当采用木檩时，其间距不宜大于 4.0m；当采用钢檩条时，其间距不宜大于 6.0m。

4. 桁架的形状：一般为三角形，也可采用梯形、弧形和多边形屋架。屋架中央高度与跨度之比，不应小于表 9-14 规定的数值。桁架应有约为跨度 1/200 的起拱。

桁架最小高跨比 **表 9-14**

序　　号	桁　　架　　类　　型	h/l
1	三角形木桁架	1/5
2	三角形钢木桁架；平行弦木桁架；弧形、多边形和梯形木桁架	1/6
3	弧形、多边形和梯形钢木桁架	1/7

注：h——桁架中央高度；

l——桁架跨度。

5. 当屋顶需设天窗时，天窗架的跨度，不宜大于屋架跨度的 1/3。

三、木屋盖的支撑

1. 为防止桁架的侧倾，保证受压弦杆的侧向稳定，承担和传递纵向水平力，应采取有效措施保证结构在施工和使用期间的空间稳定。

2. 屋盖中的支撑，应根据结构的形式和跨度、屋面构造及荷载等情况选用上弦横向支撑或垂直支撑。但当房屋跨度较大或有锻锤、吊车等振动影响时，除应选用上弦横向支撑外，尚应加设垂直支撑。

支撑构件的截面尺寸，可按构造要求确定。

注：垂直支撑系指在两榀屋架的上、下弦间设置交叉腹杆（或人字腹杆），并在下弦平面设置纵向水平系杆，用螺栓连接，与上部锚固的檩条构成一个不变的竖向桁架体系。

3. 当采用上弦横向支撑时，若房屋端部为山墙，则应在房屋端部第二开间内设置（图 9-47）；若房屋端部为轻型挡风板，则在第一开间内设置，若房屋纵向很长，对于冷摊瓦屋面或大跨度房屋尚应沿纵向每隔 20～30m 设置一道。

上弦横向支撑的斜杆如选用圆钢，应设有调整松紧的装置。

4. 当采用垂直支撑时，在跨度方向可根据屋架跨度大小设置一道或两道，沿房屋纵向应隔间设置并在垂直支撑的下端设置通长的纵向水平系杆。

在有上弦横向支撑的屋盖中，加设垂直支撑时，可仅在有上弦横向支撑的开间中设置，但应在其他开间设置通长的纵向水平系杆。

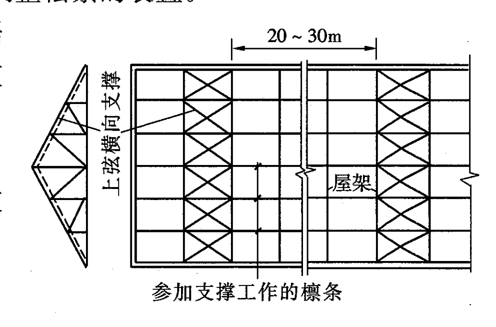


图 9-47　上弦横向支撑

5. 在下列部位，均应设垂直支撑：

（1）在梯形屋架的支座竖杆处；

（2）屋架下弦低于支座呈折线形式，在下弦的折点处；

(3）当设有悬挂吊车时，在吊轨处；

(4）在杆系拱、框架及类似结构的受压下弦部分节点处；

(5）在屋盖承重胶合大梁的支座处。

以上各项垂直支撑的设置方法，除第（3）项应按 4 的规定设置外，其余各项可仅在房屋两端第一开间（无山墙时）或第二开间（有山墙时）设置，但应在其他开间设置通长的水平系杆。

6. 对于下列非开敞式的房屋，可不设置支撑。但若房屋纵向很长，则应沿纵向每隔 20～30m 设置一道支撑：

(1）当有密铺屋面板和山墙，且跨度不大于 9m 时；

(2）当房屋为四坡顶，且半屋架与主屋架有可靠连接时；

(3）当房屋的屋盖两端与其他刚度较大的建筑物相连时。

7. 当屋架设有天窗时，可按 3 和 4 条的规定设置天窗架支撑。天窗架的两边柱处，设置柱间支撑。在天窗范围内沿主屋架脊节点和支撑节点，应设通长的纵向水平系杆。

8. 有抗震设防要求时木屋盖的支撑布置，宜符合表 9-15 的要求；支撑与屋架或天窗架应采用螺栓连接；山墙应沿屋面设置现浇钢筋混凝土卧梁，并应与屋盖构件锚拉。

木屋盖的支撑布置　　表 9-15

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="4">支撑名称</th><th colspan="6">烈度</th></tr>
<tr><th>6、7</th><th colspan="3">8</th><th colspan="2">9</th></tr>
<tr><th rowspan="2">各类屋盖</th><th colspan="2">满铺望板</th><th rowspan="2">稀铺望板或无望板</th><th rowspan="2">满铺望板</th><th rowspan="2">稀铺望板或无望板</th></tr>
<tr><th>无天窗</th><th>有天窗</th></tr>
<tr><td rowspan="3">屋架支撑</td><td>上弦横向支撑</td><td colspan="2">同非抗震设计</td><td>房屋单元两端天窗开洞范围内各设一道</td><td>屋架跨度大于 6m 时，房屋单元两端第二开间及每隔 20m 设一道</td><td>屋架跨度大于 6m 时，房屋单元两端的第二开间各设一道</td><td>屋架跨度大于 6m 时，房屋单元两端第二开间及每隔 20m 设一道</td></tr>
<tr><td>下弦横向支撑</td><td colspan="5">同非抗震设计</td><td>屋架跨度大于 6m 时，房屋单元两端第二开间及每隔 20m 设一道</td></tr>
<tr><td>跨中竖向支撑</td><td colspan="5">同非抗震设计</td><td>隔间设置并加下弦通长水平系杆</td></tr>
<tr><td rowspan="2">天窗架支撑</td><td>天窗两侧竖向支撑</td><td colspan="4">天窗两端第一开间各设一道</td><td colspan="2">天窗两端第一开间及每隔 20m 左右设一道</td></tr>
<tr><td>上弦横向支撑</td><td colspan="6">跨度较大的天窗，参照无天窗屋架的支撑布置</td></tr>
</table>

四、单层及多层房屋木结构坡屋顶的结构布置

(一）木结构坡屋顶的主要受力构件

1. 受弯构件（即水平构件）：木梁（跨度≤6.0m 时）、屋架（跨度＞6.0m 时）、檩条（采用木檩时，跨度≤4.0m；采用钢檩条时，跨度≤6.0m）。

2. 竖向构件：用于支承受弯构件的结构构件。

（1）墙体或墙垛：用墙体支承檩条时称为硬山搁檩；墙体作为屋架支承时，一般应加墙垛；

（2）木柱：用木柱作为屋架或木梁的支承；

（3）钢筋混凝土柱：用于支承屋架或梁（木梁或钢筋混凝土梁）。

（二）木结构坡屋顶的结构布置的主要步骤

1. 确定主要竖向构件，即明确哪些墙体或柱作为受弯构件屋架，木梁或檩条的支承结构。

2. 根据建筑屋顶的要求，确定屋面的排水坡向，一般木屋顶的坡向可分为：单坡、双坡和四坡。

（1）单坡：适用于跨度较小的屋面，如图 9-48 所示；

（2）双坡：跨度较大时，需采用双坡排水，如图 9-49 所示；

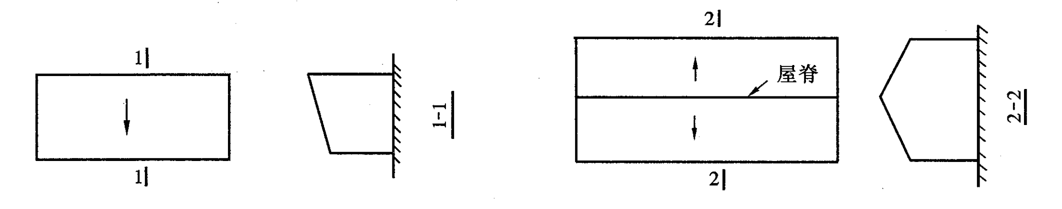


图 9-48　单坡屋顶图

图 9-49　双坡屋顶图

（3）四坡屋顶，如图 9-50 所示；

（4）复杂四坡顶：当平面复杂，存在凹凸时，选用复杂的四坡屋顶（图 9-51）。屋顶排水坡面应按以下原则确定：

1）不论跨度大小，屋面坡度均相同；

2）檐口的标高亦均相同；

3）当屋脊标高不同时，在坡面相交处将形成天沟或斜脊。

任何平面形状的四坡木屋顶，在进行屋架、木梁及檩条的布置之前，均应先画出屋面

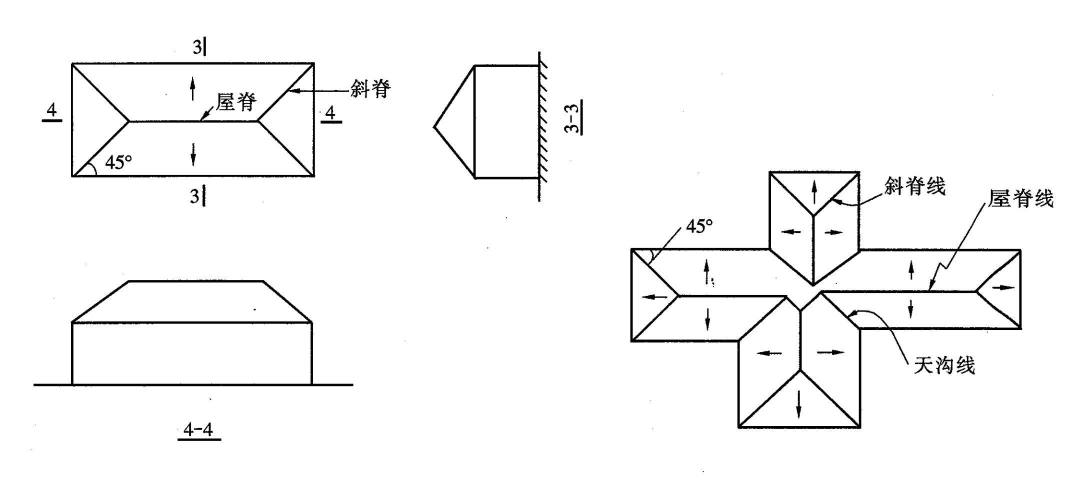


图 9-50　四坡屋顶图

图 9-51　复杂四坡屋顶图

的排水坡面的平面图，故应能熟练地掌握该平面图的绘制方法。

3. 布置屋架、木梁

（1）屋架沿着跨度方向布置，屋架可以是全跨的全屋架[图 9-52(*a*)]，也可以是半跨的半屋架[图 9-52(*b*)]。

（2）木梁一般用于跨度不大于 6.0m，用以代替屋架的作用。

（3）在四坡顶的斜脊和天沟处应布置木梁，当跨度大于 6.0m 时，可用半屋架代替木梁（图 9-53）。

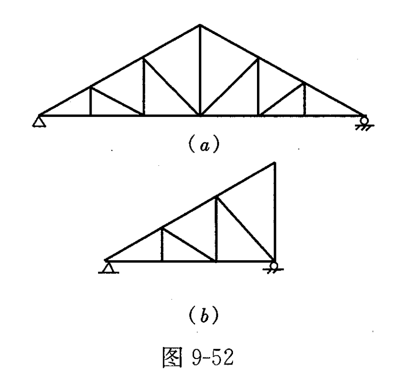


图 9-52

(*a*) 全屋架；(*b*) 半屋架

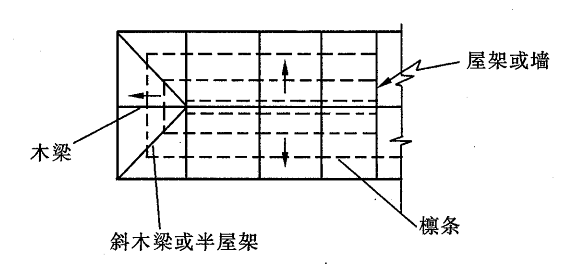


图 9-53　四坡顶构件布置示意图

4. 布置檩条

檩条应沿着与坡向垂直的方向布置。

5. 布置屋盖支撑

（1）对于主要采用墙体作为檩条支承，只局部有屋架时，可不设置屋盖支撑。

（2）当屋顶以屋架为主要承重结构时，则应按本节第三条的要求设置屋盖支撑。

6. 挑檐的构造做法

当屋面采用明排水时，则必须有挑檐，挑檐木的间距同檩条的跨度，其构造做法有以下几种：

（1）有屋架的挑檐一般采用屋架支座下的附木延伸挑出形成挑檐，如图 9-54 所示。

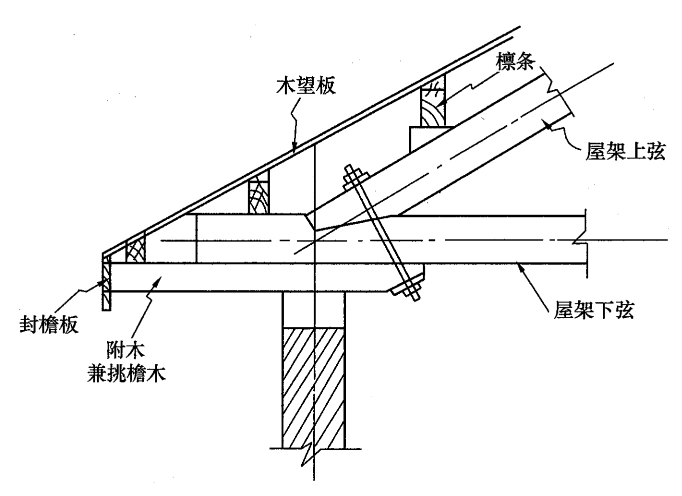


图 9-54　木屋架端部（支座）构造

（2）硬山搁檩的挑檐构造，即为无屋架处的挑檐木做法，如图 9-55 所示。

（3）当檩条支座为木梁及四坡顶阴、阳角处为木梁时的挑檐木构造做法如图 9-56～图 9-58 所示。

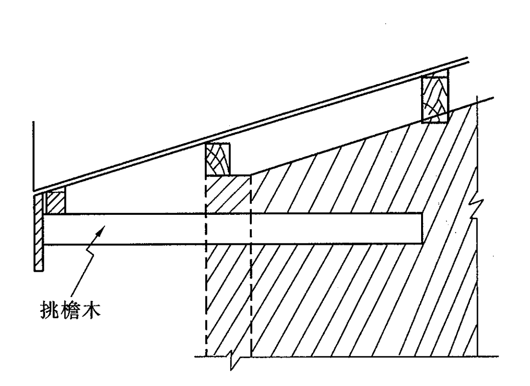


图 9-55　硬山搁檩（即无屋架处）的挑檐木做法

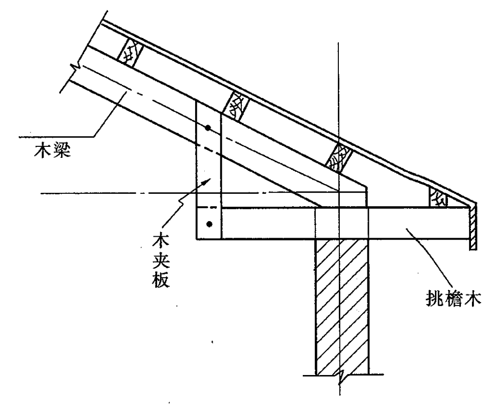


图 9-56　挑檐木与木梁的构造做法

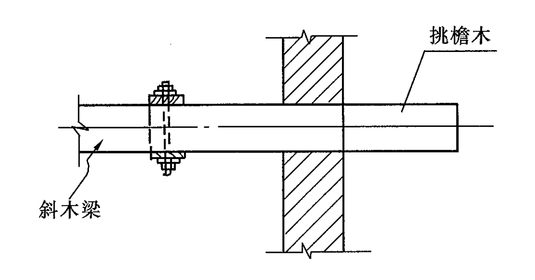


图 9-57　挑檐木平面图

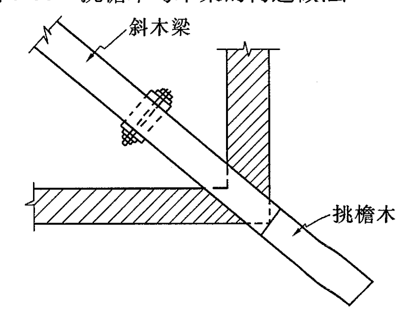


图 9-58　角部挑檐木平面图

（三）单层房屋木屋顶结构平面布置示例（图 9-59）

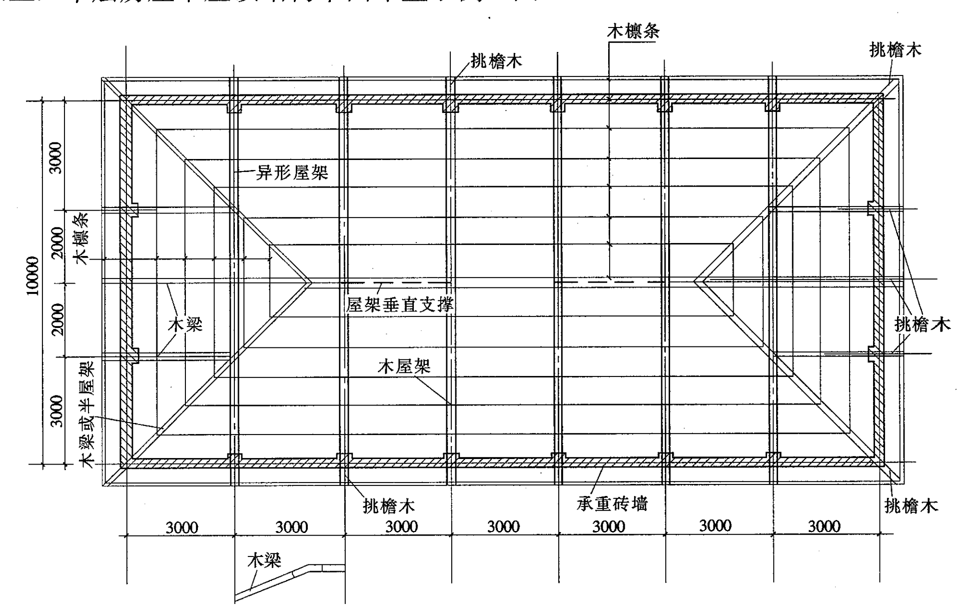


图 9-59　单层房屋木屋顶结构平面布置示例图

第五节　大跨度空间结构

一、桁架

桁架应用极广，适用跨度范围（6～60m）非常大。以受力特点可分为：平面桁架、立体桁架、空腹桁架。通常所指的桁架全是平面桁架，只在强调其与立体桁架或空腹桁架有所区别时，才称之为平面桁架。文艺复兴时期，改进完善了木桁架，解决了空间屋顶结构的问题；10世纪工业大发展，因工业、交通建设需要，进一步加大跨度。出现了各种钢屋架采用桁架。

（一）桁架的基本特点

1. 平面——外荷与支座反力都作用在全部桁架杆件轴线所在的平面内；

2. 几何不变——桁架的杆件按三角形法则构成；

3. 铰接——杆件相交的节点，计算按铰接考虑，木杆件的节点非常接近铰接；钢桁架或钢筋混凝土桁架的节点不是铰接、实际上属于刚架，其杆件除轴向力外，还存在弯矩，会产生弯曲应力，但很小，依靠节点构造措施能解决，故一般仍按节点铰接考虑；

4. 轴向受力——节点既是铰接，故各杆件（弦杆、竖杆、斜杆）均受轴向力，这是材尽其用的有效途径。

（二）桁架的合理形式

选择桁架形式的出发点是受力合理，能充分发挥材力，以取得良好的经济效益。桁架杆件虽然是轴向受力，但桁架总体仍摆脱不了弯曲的控制，在节点竖向荷载作用下，其上弦受压、下弦受拉，主要抵抗弯矩，而腹杆则主要抵抗剪力。平面桁架的形式与内力，见图9-60。

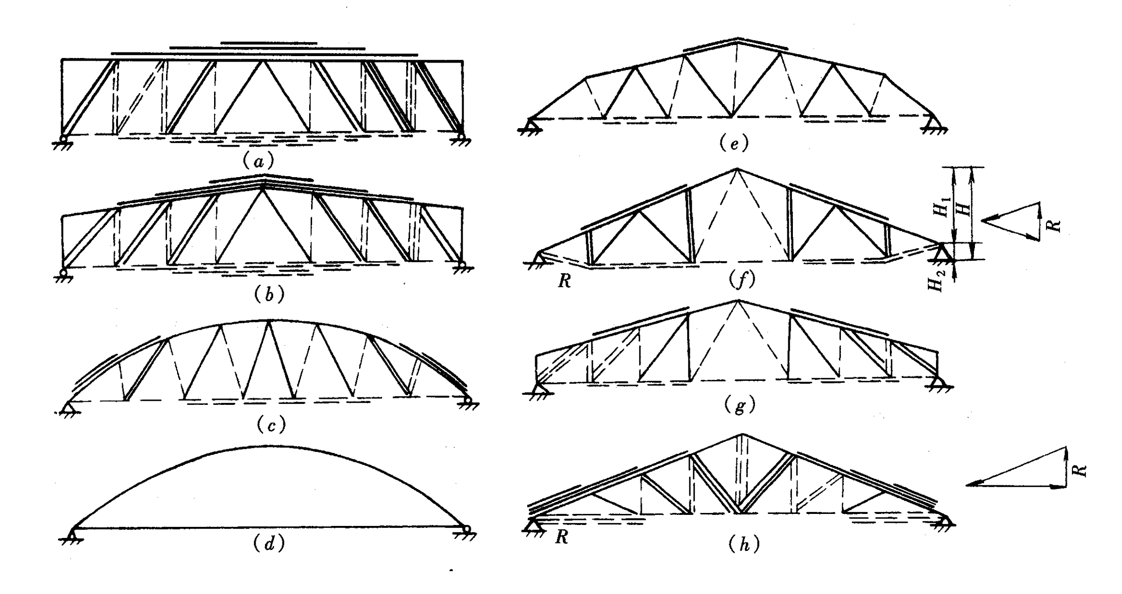


图9-60　平面桁架的形式与内力

由受力分析可以看出，在其他条件相同的情况下，受力最合理，节点构造最简单，用料最经济，自重最轻巧，施工也可行的是多边形或弧形桁架，因其上弦非直线，制作较复

杂，仅适用于较大跨度的情况。一般为便于构造与制作，上下弦各采用等截面杆件，其截面按最大内力决定，故内力较小的节间，材料未尽其用；为充分发挥材力，应尽量使弦杆各节点内力值接近。为进一步改进多边形桁架，使其上弦制作方便些，可做成折线形上弦的桁架，其高度变化接近于抛物线，这样适用于中、大跨（$l>18$m），但其制作仍比三角形或梯形桁架复杂，三角形桁架的最大特点是上弦为两根直料，构造与制作最简单，其受力极不均匀，仅适用于小、中跨（$l\leqslant18$m）的桁架情况。

（三）桁架选型

选择桁架形式时，除了要考虑桁架受力与经济合理外，还需要考虑下列问题：

（1）建筑体型与美观；

（2）屋面材料及其坡度；

（3）制作与吊装。

（四）桁架的空间支撑

支撑的位置设在山墙位置两端的第二开间内，对无山墙（包括伸缩缝处）房屋设在房屋两端第一开间内，房屋中间每隔一定距离（一般≤60m）亦需设置一道支撑，木屋架为20～30m。支撑包括上弦水平支撑、下弦水平支撑与垂直支撑，把上述开间相邻两端桁架联结成稳定的整体。在下弦平面通过纵向系杆，与上述开间空间体系相连，以保证整个房屋的空间刚度和稳定性。支撑的作用有三：

（1）保证屋盖的空间刚度与整体稳定；

（2）抵抗并传递屋盖纵向侧力，如山墙风力、纵向地震力等；

（3）保证桁架上弦平面外的压曲，减少平面外长细比，并可以防止桁架下弦平面外的振动。

（五）桁架的优缺点

1. 优点

（1）桁架的设计、制作、安装均为简便；

（2）桁架适应跨度范围很大，故其应用非常广泛。

2. 缺点

（1）结构空间大，其跨中高度 H 较大，一般为（1/10～1/5）l_0，给建筑体型带来笨重的大山头，单层建筑尤难处理；

（2）侧向刚度小，钢屋架尤甚，需要设置支撑，把各榀桁架联成整体，使之具有空间刚度，以抵抗纵向侧力，支撑按构造（长细比）要求确定截面，耗钢而未能材尽其用。

（六）立体桁架

解决上述未尽其用的问题使桁架材料充分发挥其潜力的办法，是改平面桁架为空间桁架，即立体桁架。这样一来桁架本身就具有足够的侧向刚度与稳定性，以简化或从根本上取消支撑，其具体做法见图 9-61。

（七）空腹桁架

由于使用上的需要或建筑功能上的要求，如在桁架高度范围内开门窗或天窗，或在桁架高度范围内作设备层，或需要穿越管道与人行道，或桁架暴露于室外需要适当美观等原因，不允许桁架有斜腹杆，只有竖杆的桁架，即是空腹桁架。

本节所述之平面桁架、立体桁架与空腹桁架，其总体仍然是受弯构件，本质是格构式

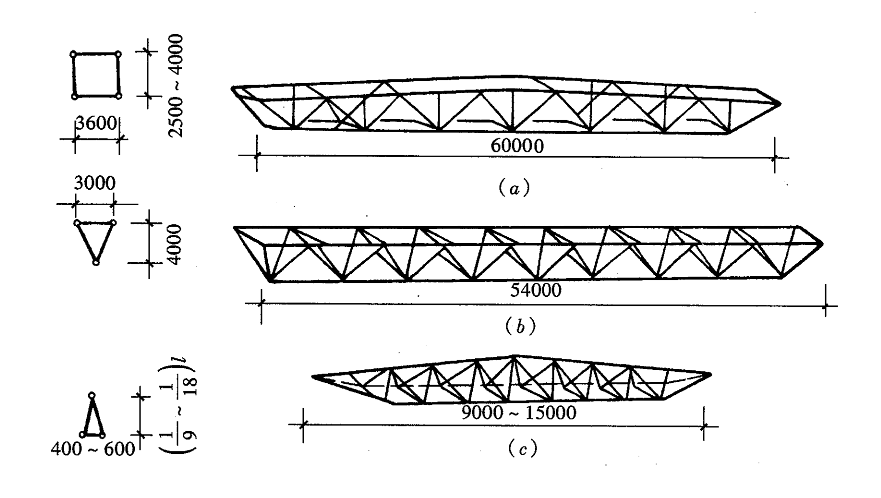


图 9-61　立体桁架

(a) 并联；(b) 倒锥体；(c) 正锥体

梁或梁式桁架。

二、拱与薄壳

拱是抗压材料的理想形式，拱形的土穴、岩洞是自然界存在最多的天然结构。拱是受压的，土与石承压性能好，因此天然结构中拱形的土穴与岩洞占绝大多数。

壳体具有三大功能，即强度大、刚度大和板架合一，这是由于壳能双向直接传力、具有极大空间刚度和屋面与承重合一的面系结构。本节将拱与壳分述如下：

(一) 拱

东西方古国，很早就产生了拱结构。如：中国的弧拱、古埃及、希腊的券拱；古罗马的半圆拱；拜占庭的帆拱；罗马建筑的肋形拱；哥特建筑的尖拱等。

现代的拱结构多采用圆弧拱或抛物线拱，其所采用的材料相当广泛，可用砖、石、混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土，也有采用木材和钢材的。拱结构的应用范围很广；最初用于桥梁，在建筑中，拱主要用于屋盖或跨门窗洞口，有时也用作楼盖、承托围墙或地下沟道顶盖。

拱所承受的荷载不同，其压力曲线的线形也不相同，一般按恒载下压力曲线确定；在活载作用下，拱内力可能产生弯矩，这时铰的设置就会影响拱内弯矩的分布状况。与刚架相仿，只有地基良好或两侧拱肢处有稳定边跨结构时才采用无铰拱，这种拱很少用于房屋建筑。双铰拱应用较多，为适应软弱地基上支座沉降差及拱拉杆变形，最好采用静定结构的三铰拱，如西安秦俑博物馆展览厅，由于地基为Ⅰ～Ⅱ级湿陷性土而采用 67m 跨的三铰拱。拱的形式见图 9-62。

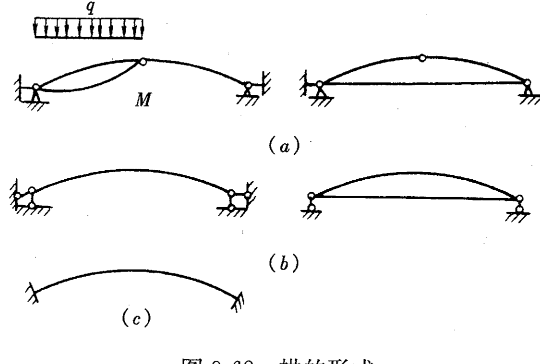


图 9-62　拱的形式

(a) 三铰拱；(b) 双铰拱；(c) 无铰拱

拱身可分为两大类，即梁式拱和板式拱。

1. 梁式拱有两种：

①肋形拱；②格构式拱。

2. 板式拱有六种：

①筒拱；②凹波拱；③凸波拱；④双波拱；⑤折板拱；⑥箱形拱。

拱以曲杆抗衡并传递外力给支座，故铰支座不仅承受竖向力，并有相当大的水平向外的拱脚推力，其合力就位于拱轴曲线在支座点的切线方向上。拱脚有推力是其主要力学特征之一，矢高 f 越小，推力越大。一次超静定的双铰拱，支座的垂直或水平位移均会引起内力变化，对支座在推力作用下无变位的要求就更严格。由此可见，为了使拱保持正常工作，务必确保其支座能承受住推力而不位移，故拱脚推力的结构处理，是拱结构设计的中心问题。

3. 一般，抵抗推力结构的处理方案，有下列几种：

(1) 推力由拉杆直接承担；

(2) 推力由水平结构承担。

4. 结合拱脚部位有下列的处理方案：

(1) 连续拱的中间支座，两侧恒载作用下拱脚推力相抵消，故中间各跨可不设拉杆；非对称活荷（雪、风荷等）作用下，两侧不平衡推力，可由作为中间支座的梁来抗衡。

(2) 边跨拱的边支座处理：

①边圈梁；②挑檐板；③边跨平顶。

(3) 推力由竖向结构承担。竖向结构有下列四种形式：

①扶壁墙墩；②飞券；③斜托墩；④边跨结构。

(4) 推力直接传给基础—落地拱。拱结构布置有下列六种：

①并列布置；②径向布置；③环向布置；④井式布置；⑤多叉布置；⑥拱环布置。

例 9-1 (14-77) 三铰拱分别在沿水平方向均布的竖向荷载和垂直于拱轴的均布压力作用下，其合理拱轴线是（　　）。

A　均为抛物线　　　　B　均为圆弧线

C　分别为抛物线和圆弧线　　　　D　分别为圆弧线和抛物线

提示：不同荷载作用下三铰拱的合理拱轴线不同，按三铰拱合理拱轴线上的截面弯矩 $M=0$ 的条件，可分别求得三铰拱在沿水平方向均布的竖向荷载和垂直于拱轴的均布压力作用下，其合理拱轴线分别为抛物线和圆弧线。

答案：C

例 9-2 (14-74) 基础置于湿陷性黄土的某大型拱结构，为避免基础不均匀沉降使拱结构产生附加内力，宜采用（　　）。

A　无铰拱　　　　B　两铰拱

C　带拉杆的两铰拱　　　　D　三铰拱

提示：为避免基础不均匀沉降使拱结构产生附加内力，宜采用静定结构三铰拱。

答案：D

（二）薄壳

人类远在数千年前早已造出了各式各样的日用壳体，如锅、碗、坛、罐……以后工业逐渐发达，造出了灯泡、钢盔、木舟等不胜枚举。壳体结构的主要优点是覆盖面积大，无需中柱，室内空间开阔宽敞、能满足各种功能要求，故其应用极广，如 1959 年建成的北京站采用的就是双曲扁壳（矢高与最小跨度之比不大于 1/5 的壳体）。壳体结构虽逐渐增多，但其应用仍受到一定限制，由于其缺点是缺乏木材与模板，制作复杂。

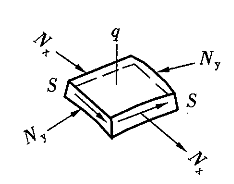


图 9-63　壳的应力

横向受荷传力的梁起“担”的作用，不能材尽其用，并非经济的结构形式；以曲梁承荷传力的拱起“顶”的作用，能进一步发挥材力，是较先进的结构形式；壳体与此相仿，以曲板承荷传力，而且更进一步，它不像拱是单向受荷传力的平面结构，而是双向受荷传力的空间结构，起双向“顶”的作用，见图 9-63，这是空间壳与平面拱的根本区别。

壳体是指由壳板（有时壳板上还有加劲肋）与其边缘构件组成的具有规定承载力的结构。

薄壳是指厚度与中曲面最小曲率半径之比不大于 1/20 的壳体；扁壳是指矢高与最小跨度之比不大于 1/5 的壳体；膜型扁壳是指两个主压应力方向上的截面内力彼此基本相等的扁壳。

壳体的混凝土强度等级不应低于 C25。壳板的厚度不应小于 50mm。

薄壳的造型有：

（1）底面为圆形的壳体形式可采用球面壳、椭球面壳、旋转抛物面壳和膜型扁壳；

（2）底面为矩形的壳体形式可采用双曲面扁壳、圆柱面壳、双曲抛物面扭壳和膜型扁壳。

当壳体上荷载分布变化较大，或圆形底面直径大于 10m、矩形底面边长大于 8m 时，不宜采用膜型扁壳。

1. 双曲扁壳

双曲扁壳应由壳板及竖向边缘构件组成，可采用等曲率或不等曲率壳。

双曲扁壳的矢高与底面最小边长之比不得大于 1/5。不等曲率双曲扁壳的较大曲率与较小曲率之比不宜大于 2（图 9-64）。

2. 圆柱面壳

圆柱面壳的壳体上应设置边梁和横格。圆柱面壳可按其几何特征和几何形状进行分类，并应符合下列规定：

（1）根据圆柱面壳的几何特征，可分为长壳和短壳。

长壳应满足下列条件：

$$B/l \leqslant 1 \qquad (9\text{-}11)$$

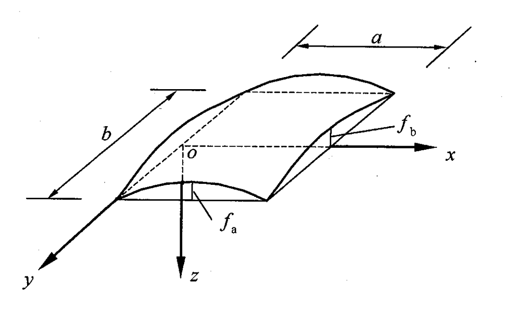


图 9-64　双曲扁壳的坐标和几何尺寸

短壳应满足下列条件：

$$B/l > 1 \qquad (9\text{-}12)$$

式中　B——圆柱面壳的宽度，即圆柱面壳直线边梁间的水平距离；

l——圆柱面壳的跨度，即圆柱面壳纵向支承横格的间距。

（2）根据圆柱面壳的几何形状，可分为单波和多波圆柱面壳。

（3）长壳、短壳的壳板矢高 f 不应小于壳体宽度 B 的 1/8，长壳的壳板矢高 f_{tot} 不宜小于壳体跨度 l 的 1/15（图 9-65）。

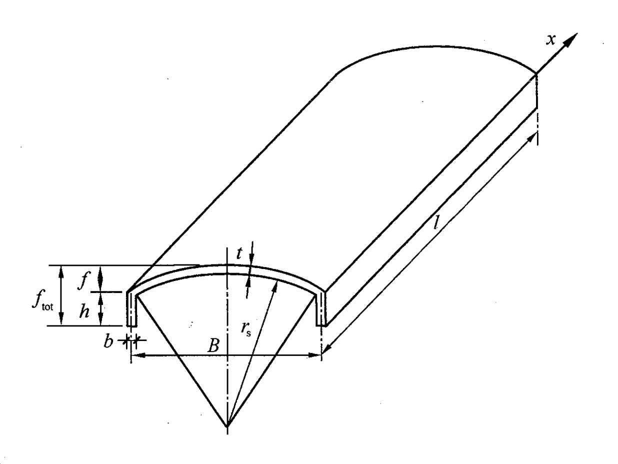


图 9-65　圆柱面壳的几何尺寸

3. 双曲抛物面扭壳

双曲抛物面扭壳可通过一条曲率中心向下的抛物线沿另一条曲率中心向上的抛物线平移而生成，中曲面方程可按下式表示：

$$z = f_1(x) + f_2(y) \tag{9-13}$$

如下图（图 9-66）所示：

4. 膜型扁壳

（1）抗震设防烈度为 9 度时不宜采用膜型扁壳。

（2）矩形底膜型扁壳最大边长不宜大于 8m，圆形底膜型扁壳最大直径不宜大于 10m。

（3）矩形底膜型扁壳壳板中央的最大矢高宜为矩形底面对角线长度的 1/8～1/12；圆形底膜型扁壳壳板中央的最大矢高宜为圆形底面直径的 1/5～1/10。

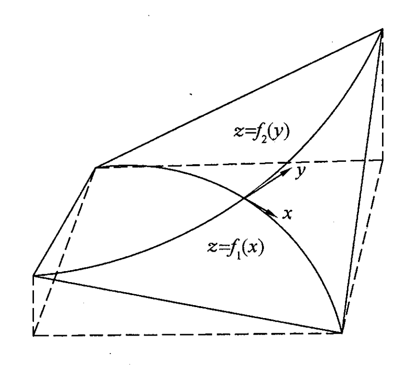


图 9-66　双曲抛物面扭壳

5. 圆形底旋转壳

本节不做详细论述，请参阅《钢筋混凝土薄壳结构设计规程》JGJ 22—2012 的有关章节。

6. 薄壳结构的抗震验算应符合下列规定：

（1）抗震设防烈度低于或等于 7 度时，对周边支承且跨度不大于 24m 的薄壳结构可不进行抗震验算，对跨度大于 24m 的薄壳结构应进行水平抗震验算。

（2）抗震设防烈度为 8 度或 9 度时，对各种薄壳结构均应进行水平和竖向抗震验算。

（3）当抗震设防烈度为 8 度或 8 度以上时，不宜采用装配整体式薄壳结构，宜采用现浇结构。

三、空间网格结构

按一定规律布置的杆件、构件通过节点连接而构成的空间结构，包括网架、曲面型网壳以及立体桁架等。

（一）网架

按一定规律布置的杆件通过节点连接而形成的平板型或微曲面型空间杆系结构，主要承受整体弯曲内力。

1. 网架结构可采用双层或多层形式；网壳结构可采用单层或双层形式，也可采用局部双层形式。

2. 网架结构可选用下列网格形式：

（1）由交叉桁架体系组成的两向正交正放网架、两向正交斜放网架、两向斜交斜放网架、三向网架、单向折线形网架（图 9-67）。

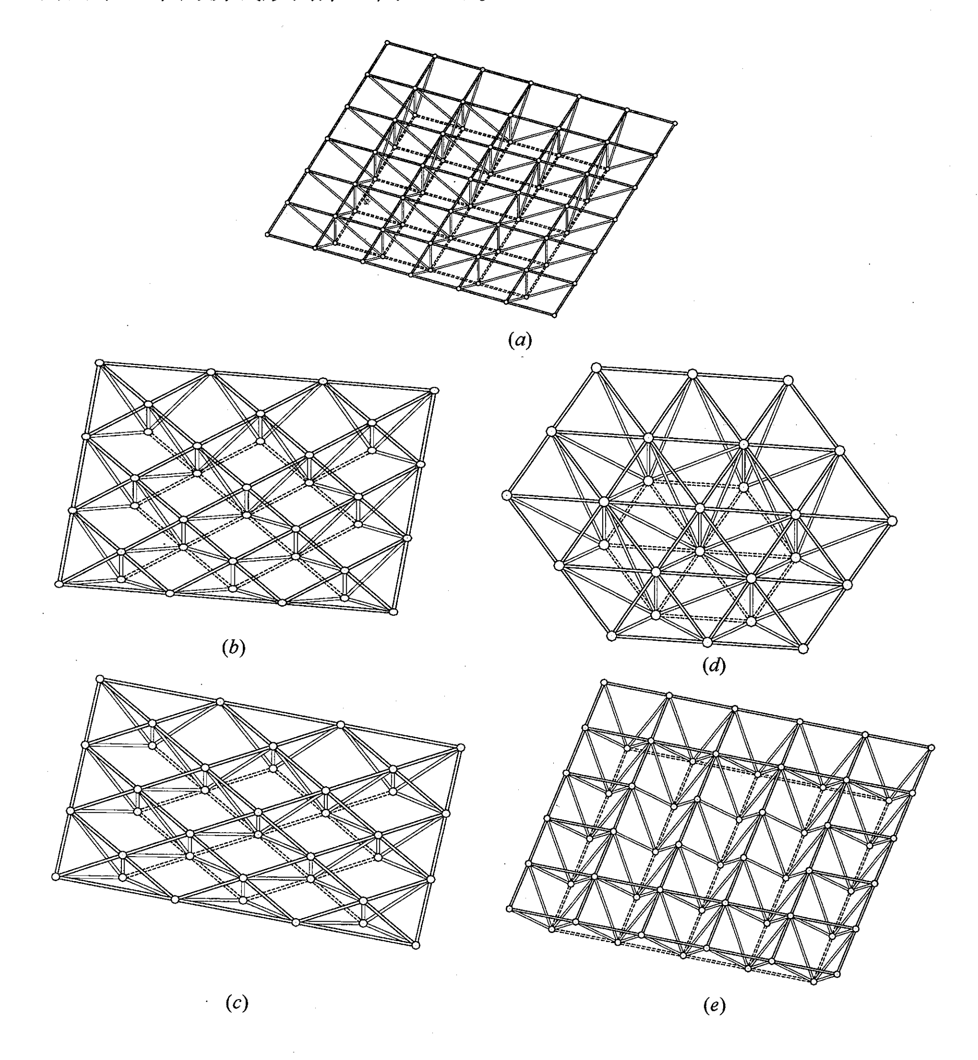


图 9-67　交叉桁架体系

（a）两向正交正放网架；（b）两向正交斜放网架；（c）两向斜交斜放网架

（d）三向网架；（e）单向折线形网架

（2）由四角锥体系组成的正放四角锥网架、正放抽空四角锥网架、棋盘形四角锥网架、斜放四角锥网架、星形四角锥网架（图 9-68）。

（3）由三角锥体系组成的三角锥网架、抽空三角锥网架、蜂窝形三角锥网架（图 9-69）。

（4）网架的网格高度与网格尺寸应根据跨度大小、荷载条件、柱网尺寸、支承情况、网格形式以及构造要求和建筑功能等因素确定，网架的高跨比可取 1/10～1/18。网架在短向跨度的网格数不宜小于 5。确定网格尺寸时宜使相邻杆件间的夹角大于 45°，且不宜小于 30°。

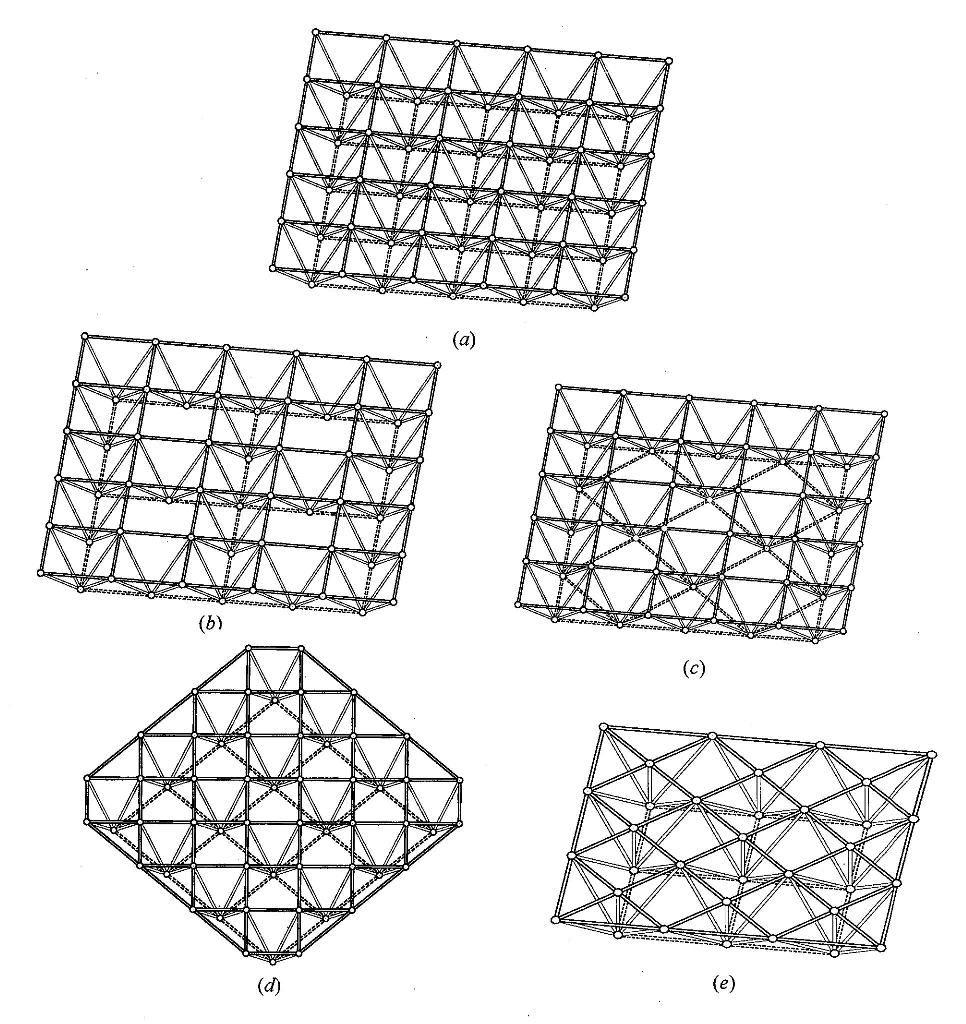


图 9-68 四角锥体系

(*a*) 正放四角锥网架；(*b*) 正放抽空四角锥网架；(*c*) 棋盘形四角锥网架；

(*d*) 斜放四角锥网架；(*e*) 星形四角锥网架

(二) 网壳

按一定规律布置的杆件通过节点连接而形成的曲面状空间杆系或梁系结构，主要承受整体薄膜内力。

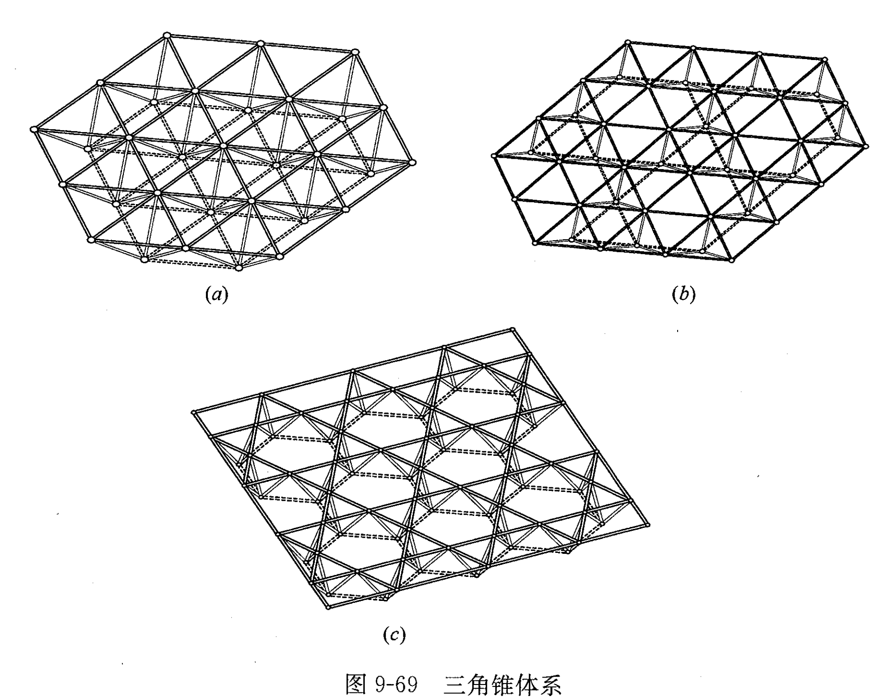
1. 网壳结构可采用球面、圆柱面、双曲抛物面、椭圆抛物面等曲面形式，也可采用各种组合曲面形式。

2. 单层网壳可选用下列网格形式：

(1) 单层圆柱面网壳可采用单向斜杆正交正放网格、交叉斜杆正交正放网格、联方网格及三向网格等形式（图 9-70）。

(2) 单层球面网壳可采用肋环型、肋环斜杆型、三向网格、扇形三向网格、葵花形三向网格、短程线型等形式（图 9-71）。

(3) 单层双曲抛物面网壳宜采用三向网格，其中两个方向杆件沿直纹布置。也可采用两向正交网格，杆件沿主曲率方向布置，局部区域可加设斜杆（图 9-72）。

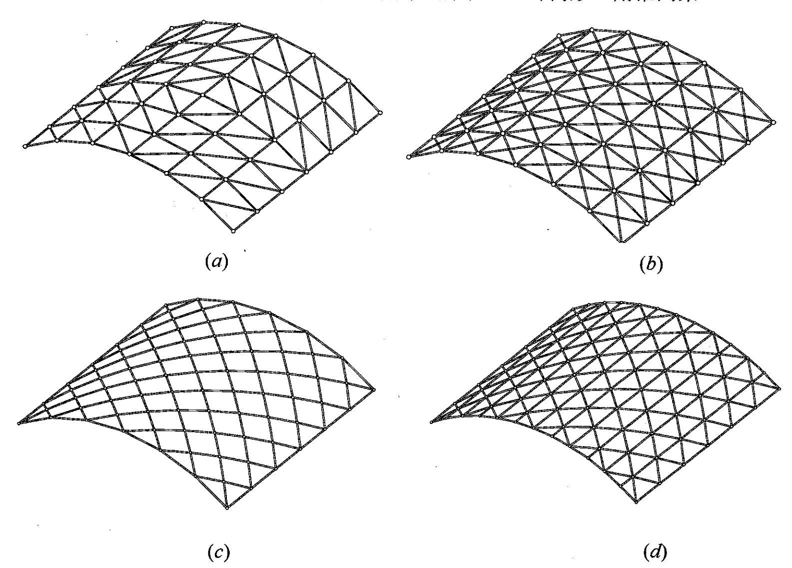


(a)　　(b)

(c)

图 9-69　三角锥体系

（a）三角锥网架；（b）抽空三角锥网架；（c）蜂窝形三角锥网架



(a)　　(b)

(c)　　(d)

图 9-70　单层圆柱面网壳网格形式

（a）单向斜杆正交正放网格；（b）交叉斜杆正交正放网格；（c）联方网格；

（d）三向网格（其网格也可转 90°方向布置）

（4）单层椭圆抛物面网壳可采用三向网格、单向斜杆正交正放网格、椭圆底面网格等形式（图 9-73）。

3. 双层网壳可由两向、三向交叉的桁架体系或由四角锥体系、三角锥体系等组成，其上、下弦网格可采用上述第 2 条的方式布置。

4. 单层网壳应采用刚接节点。

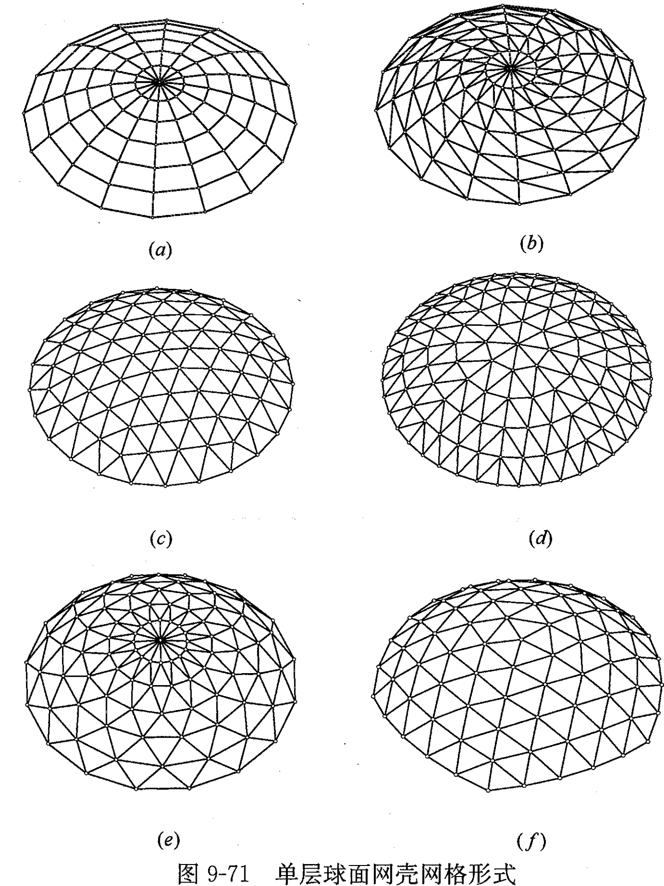


图 9-71　单层球面网壳网格形式

(a) 肋环型；(b) 肋环斜杆型；(c) 三向网格；(d) 扇形三向网格；

(e) 葵花形三向网格；(f) 短程线型

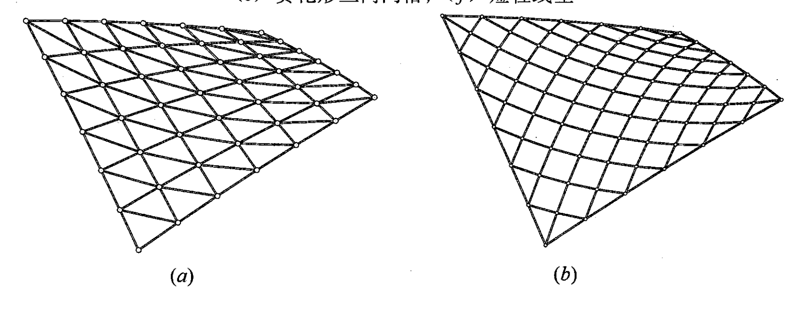


图 9-72　单层双曲抛物面网壳网格形式

(a) 杆件沿直纹布置；(b) 杆件沿主曲率方向布置

球面网壳结构设计宜符合下列规定：

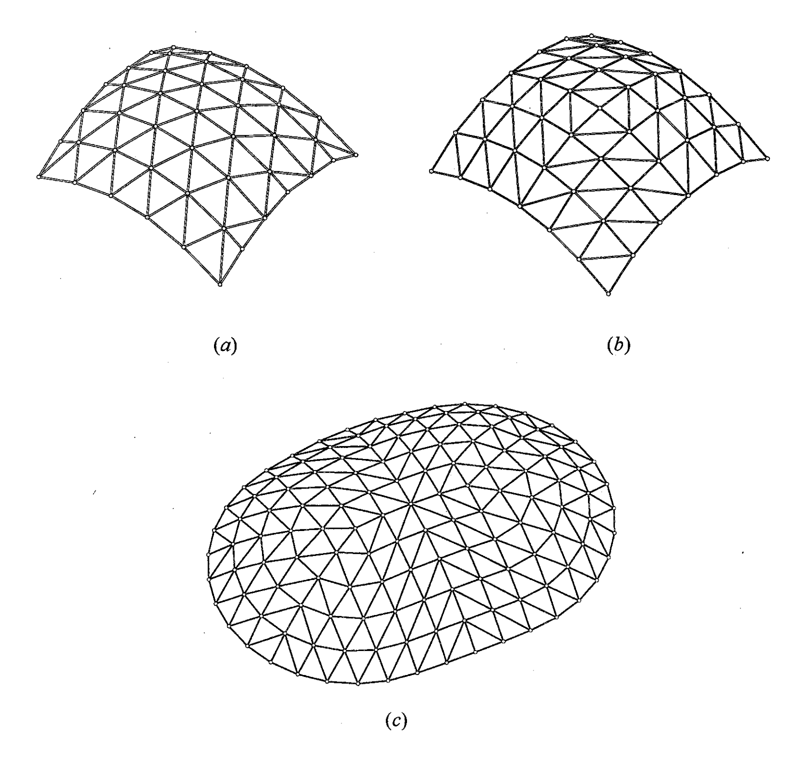
(1) 球面网壳的矢跨比不宜小于 1/7；

(2) 双层球面网壳的厚度可取跨度（平面直径）的 1/30～1/60；

(3) 单层球面网壳的跨度（平面直径）不宜大于 80m。

5. 圆柱面网壳结构设计宜符合下列规定：

(1) 两端边支承的圆柱面网壳，其宽度 B 与跨度 L 之比宜小于 1.0（图 9-74），壳体



(a)　(b)　(c)

图 9-73　单层椭圆抛物面网壳网格形式

(a) 三向网格；(b) 单向斜杆正交正放网格；(c) 椭圆底面网格

的矢高可取宽度 B 的 1/3～1/6。

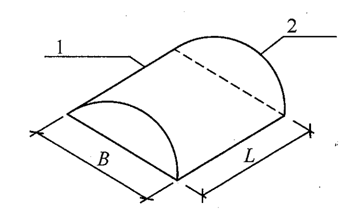


图 9-74　圆柱面网壳跨度 L、宽度 B 示意

1—纵向边；2—端边

(2) 沿两纵向边支承或四边支承的圆柱面网壳，壳体的矢高可取跨度 L 的 1/2～1/5。

(3) 双层圆柱面网壳的厚度可取宽度 B 的 1/20～1/50。

(4) 两端边支承的单层圆柱面网壳，其跨度 L 不宜大于 35m；沿两纵向边支承的单层圆柱面网壳，其跨度（此时为宽度 B）不宜大于 30m。

6. 双曲抛物面网壳结构设计宜符合下列规定：

(1) 双曲抛物面网壳底面的两对角线长度之比不宜大于 2；

(2) 单块双曲抛物面壳体的矢高可取跨度的 1/2～1/4（跨度为两个对角支承点之间的距离），四块组合双曲抛物面壳体每个方向的矢高可取相应跨度的 1/4～1/8；

(3) 双层双曲抛物面网壳的厚度可取短向跨度的 1/20～1/50；

(4) 单层双曲抛物面网壳的跨度不宜大于 60m。

7. 椭圆抛物面网壳结构设计宜符合下列规定：

(1) 椭圆抛物面网壳的底边两跨度之比不宜大于 1.5；

(2) 壳体每个方向的矢高可取短向跨度的 1/6～1/9；

(3) 双层椭圆抛物面网壳的厚度可取短向跨度的 1/20～1/50；

(4) 单层椭圆抛物面网壳的跨度不宜大于 50m。

（三）立体桁架

由上弦、腹杆与下弦杆构成的横截面为三角形或四边形的格构式桁架。

1. 立体桁架可采用直线或曲线形式。

2. 立体桁架的高度可取跨度的 1/12～1/16。

3. 立体拱架的拱架厚度可取跨度的 1/20～1/30，矢高可取跨度的 1/3～1/6。当按立体拱架计算时，两端下部结构除了可靠传递竖向反力外，还应保证抵抗水平位移的约束条件。当立体拱架跨度较大时，应进行立体拱架平面内的整体稳定性验算。

4. 张弦立体拱架的拱架厚度可取跨度的 1/30～1/50，结构矢高可取跨度的 1/7～1/10，其中拱架矢高可取跨度的 1/14～1/18，张弦的垂度可取跨度的 1/12～1/30。

5. 立体桁架支承于下弦节点时，桁架整体应有可靠的防侧倾体系，曲线形的立体桁架应考虑支座水平位移对下部结构的影响。

6. 对立体桁架、立体拱架和张弦立体拱架应设置平面外的稳定支撑体系。

（四）地震作用下的内力计算

1. 对用作屋盖的网架结构，其抗震验算应符合下列规定：

（1）在抗震设防烈度为 8 度的地区，对于周边支承的中小跨度网架结构应进行竖向抗震验算，对于其他网架结构均应进行竖向和水平抗震验算；

（2）在抗震设防烈度为 9 度的地区，对各种网架结构应进行竖向和水平抗震验算。

2. 对于网壳结构，其抗震验算应符合下列规定：

（1）在抗震设防烈度为 7 度的地区，当网壳结构的矢跨比大于或等于 1/5 时，应进行水平抗震验算；当矢跨比小于 1/5 时，应进行竖向和水平抗震验算；

（2）在抗震设防烈度为 8 度或 9 度的地区，对各种网壳结构应进行竖向和水平抗震验算。

例 9-3 （14-79）关于立体桁架的说法，错误的是（　　）。

A　截面形式可为矩形、正三角形或倒三角形

B　下弦节点支承时应设置可靠的防侧倾体系

C　平面外刚度较大，有利于施工吊装

D　具有较大的侧向刚度，可取消平面外稳定支撑

提示：对立体桁架应设置平面外的稳定支撑体系，D选项“可取消”说法错误。

答案：D

规范：《空间网格结构技术规程》第 3.4.4 条、第 3.4.5 条。

例 9-4 （13-76）下列四种屋架形式，受力最合理的是（　　）。

A　三角形桁架　　　B　梯形桁架

C　折线形上弦桁架　　　D　平行弦桁架

提示：在受力条件相同的情况下，受力最合理的屋架形式是与弯矩图形状最符合的抛物线形桁架。但其上弦非直线，制作比较复杂，为使其上弦制作方便，通常做成折线形上弦的桁架，并使其高度变化接近于抛物线；三角形桁架（上、下弦的内力靠近支座递增，腹杆的内力靠近支座递减）与平行弦桁架（上、下弦的内力靠近跨中递增，腹杆的内力靠近跨中递减）的最大特点是受力极不均匀，浪费材料，梯形桁架的受力介于两者之间。综上分析，四种屋架形式中受力最合理的是C。

答案：C

例 9-5 (13-85) 跨度为 60m 的平面网架，其合理的网架高度为（　　）。

A　3m　　　B　5m　　　C　8m　　　D　10m

提示：网架的网格高度与网格尺寸应根据跨度大小、荷载条件、柱网尺寸、支承情况、网格形式以及构造要求和建筑功能等因素确定，网架的高跨比可取 1/10～1/18。所以跨度为 60m 的平面网架，其合理的网架高度为 3.3～6m。

答案：B

规范：《空间网格结构技术规程》第 3.2.5 条。

四、索结构

（一）术语

1. 索结构

由拉索作为主要受力构件而形成的预应力结构体系。

2. 悬索结构

由一系列作为主要承重构件的悬挂拉索，按一定规律布置而组成的结构体系，包括单层索系（单索、索网）、双层索系及横向加劲索系。

3. 斜拉结构

在立柱（塔、桅）上挂斜拉索到主要承重构件而组成的结构体系。

4. 张弦结构

由上弦刚性结构或构件与下弦拉索以及上下弦之间撑杆组成的结构体系。

5. 索穹顶

由脊索、谷索、环索、撑杆及斜索组成并支承在圆形、椭圆形或多边形刚性周边构件上的结构体系。

6. 索桁架

由在同一竖向平面内两根曲率方向相反的索以及两索之间的撑杆组成的结构体系。

（二）结构选型

1. 索结构的选型应根据建筑物的功能与形状，综合考虑材料供应、加工制作与现场施工安装方法，选择合理的结构形式、边缘构件及支承结构，且应保证结构的整体刚度和稳定性。

2. 当索结构用于建筑物屋盖时，宜选用《索结构技术规程》中所规定的悬索结构、斜拉结构、张弦结构或索穹顶。悬索结构可采用单层索系（单索、索网）、双层索系及横向加劲索系。

3. 单索宜采用重型屋面。当平面为矩形或多边形时，可将拉索平行布置，构成单曲下凹屋面［图 9-75（*a*）］。当平面为圆形时，拉索可按辐射状布置，构成碟形屋面，中心宜设置受拉环［图 9-75（*b*）］。当平面为圆形并允许在中心设置立柱时，拉索可按辐射状布置，构成伞形屋面［图 9-75（*c*）］。

4. 索网宜采用轻型屋面。平面形状可为方形、矩形、多边形、菱形、圆形、椭圆形等（图 9-76）。

5. 双层索系宜采用轻型屋面。承重索与稳定索可采用不同的组合方式，两索之间应

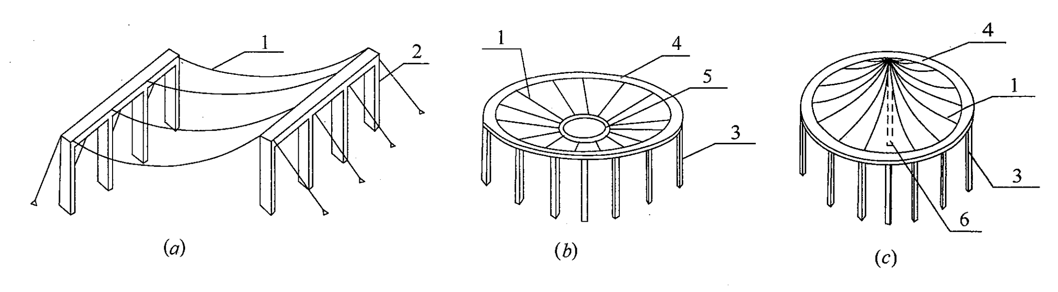


图 9-75　单索

1—承重索；2—边柱；3—周边柱；

4—圈梁；5—受拉环；6—中柱

分别以受压撑杆或拉索相联系。当平面为矩形或多边形时，承重索、稳定索宜平行布置，构成索桁架形式的双层索系［图 9-77（*a*）］；当平面为圆形时，承重索、稳定索宜按辐射状布置，中心宜设置受拉环［图 9-77（*b*）］。

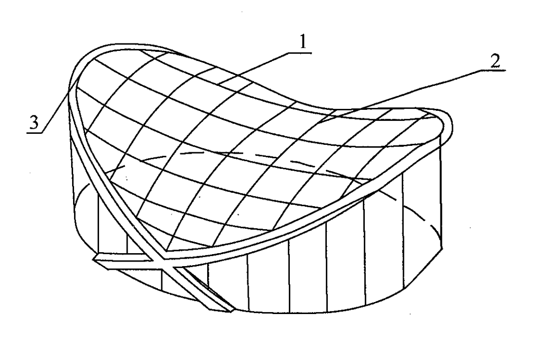


图 9-76　索网

1—承重索；2—稳定索；3—拱

6. 横向加劲索系宜采用轻型屋面。当平面形状为方形、矩形或多边形时，拉索应沿纵向平行布置；横向加劲构件宜采用桁架或梁（图 9-78）。

7. 斜拉结构宜采用轻型屋面，设置的立

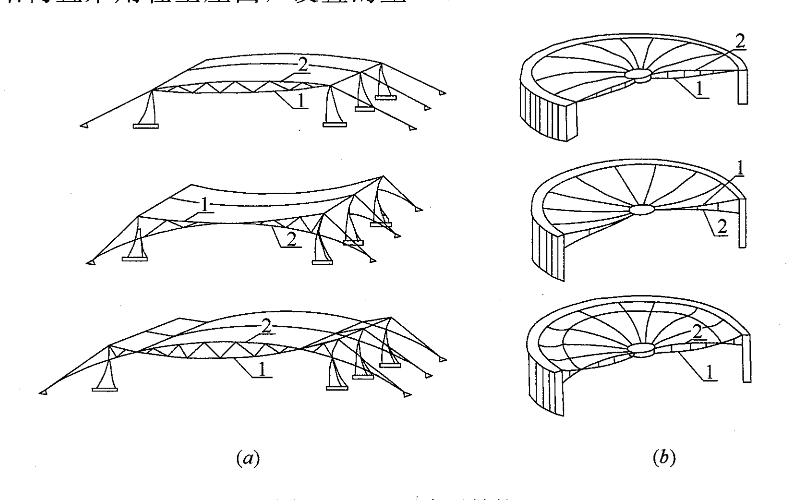


图 9-77　双层索系结构

（*a*）矩形平面；（*b*）圆形平面

1—承重索；2—稳定索

柱（桅杆）应高出屋面；斜拉索可平行布置，也可按辐射状布置。

8. 张弦结构宜采用轻型屋面。张弦结构可按单向、双向或空间布置成形，以适应不同形状的平面，并应符合下列规定：

（1）单向张弦结构的平面形状可为方形或矩形，按照上弦不同的构造方式宜采用张弦

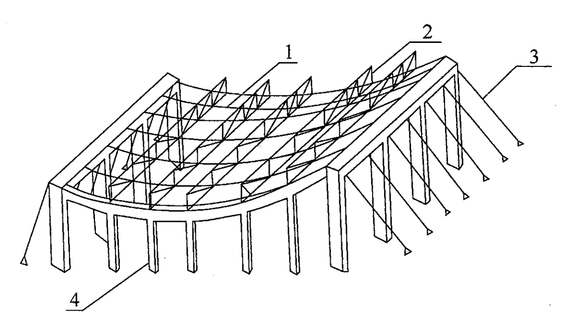


图 9-78　横向加劲索系

1—索；2—横向加劲构件；3—锚索；4—柱

梁、张弦拱或张弦拱架等形式。

（2）双向张弦结构的平面形状可为方形或矩形，宜采用如单向张弦结构的各种上弦构造方式呈正交布置成形。

（3）空间张弦结构的平面形状可为圆形、椭圆形或多边形，宜采用辐射式张弦结构或张弦网壳（亦称弦支穹顶）。张弦网壳的网格形式应按现行行业标准《空间网格结构技术规程》JGJ 7 选用。

9. 索穹顶的屋面宜采用膜材。当屋盖平面为圆形或拟椭圆形时，索穹顶的网格宜采用梯形［图 9-79（*a*）］、联方形［图 9-79（*b*）］或其他适宜的形式。索穹顶的上弦可设脊索及谷索，下弦应设若干层的环索，上下弦之间以斜索及撑杆连接。

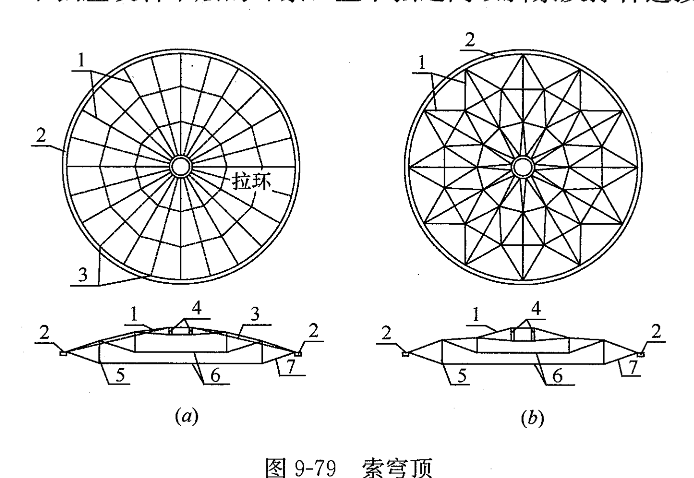


图 9-79　索穹顶

（*a*）梯形；（*b*）联方形

1—脊索；2—压环；3—谷索；4—拉环；5—撑杆；6—环索；7—斜索

10. 当索结构用于支承玻璃幕墙时，可采用单层索系或双层索系。单层索系宜采用单索、平面索网或曲面索网；双层索系宜采用索桁架。

11. 当索结构用于支承玻璃采光顶时，可采用单层索系、双层索系或张弦结构。单层索系宜采用曲面索网；双层索系宜采用平行布置或辐射布置的索桁架；张弦结构宜采用张弦拱。

12. 索结构应分别进行初始预拉力及荷载作用下的计算分析，计算中均应考虑几何非线性影响。

13. 在永久荷载控制的荷载组合作用下，索结构中的索不得松弛；在可变荷载控制的荷载组合作用下，索结构不得因个别索的松弛而导致结构失效。

（三）地震效应分析

1. 对于抗震设防烈度为 7 度及 7 度以上地区，索结构应进行多遇地震作用效应分析。

2. 对于抗震设防烈度为 7 度或 8 度地区、体形较规则的中小跨度索结构，可采用振

型分解反应谱法进行地震效应分析；对于其他情况，应考虑索结构几何非线性，采用时程分析法进行单维地震作用抗震计算，并宜进行多维地震效应时程分析。

例 9-6 **(14-82)** 某跨度为 120m 的大型体育馆屋盖，下列结构用钢量最省的是：

A 悬索结构　　　　B 钢网架

C 钢网壳　　　　D 钢桁架

提示：钢网架、钢网壳、钢桁架均为平板或曲面结构，悬索结构是由柔性受拉索及其边缘构件形成的承重结构。索的材料可以采用钢丝束、钢丝绳、钢绞线、链条、圆钢，以及其他受拉性能良好的线材，故用钢量最省。

答案：A

五、张弦梁结构

大跨度张弦梁结构是一种有别于传统结构的新型杂交屋盖体系，是用撑杆连接抗弯受压构件和张拉构件而形成的自平衡体系，是近年快速发展和应用的一种大跨空间结构体系（图 9-80～图 9-82）。

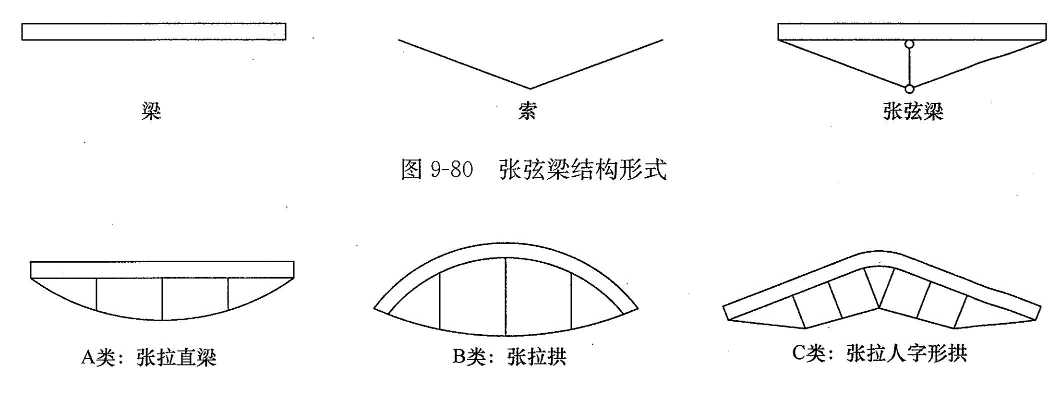


图 9-80　张弦梁结构形式

图 9-81　平面张弦梁结构

1. 张弦梁结构的基本构件组成

张弦梁结构由以下三类基本构件组成：

（1）刚性构件上弦（刚度较大的抗弯构件，通常为梁、拱或桁架）；

（2）柔性拉索（高强度的弦，通常为索）；

（3）中间连以撑杆。

2. 张弦梁的结构特点

通过对柔性构件施加拉力，使相互连接的构件具有整体刚度。张弦梁结构体系受力简单明确、结构形式多样，充分发挥了刚性构件抗弯刚度高和柔性构件抗拉强度高的两种材料刚柔并济的优势，使张弦梁结构可以做到自重相对较轻，体系的刚度和形状稳定性相对较大，因而可以跨越很大的空间。

六、弦支穹顶结构

1. 弦支穹顶结构体系组成

由上部单层网壳、下部的竖向撑杆、径向拉杆或者拉索和环向拉索组成。其中各环撑

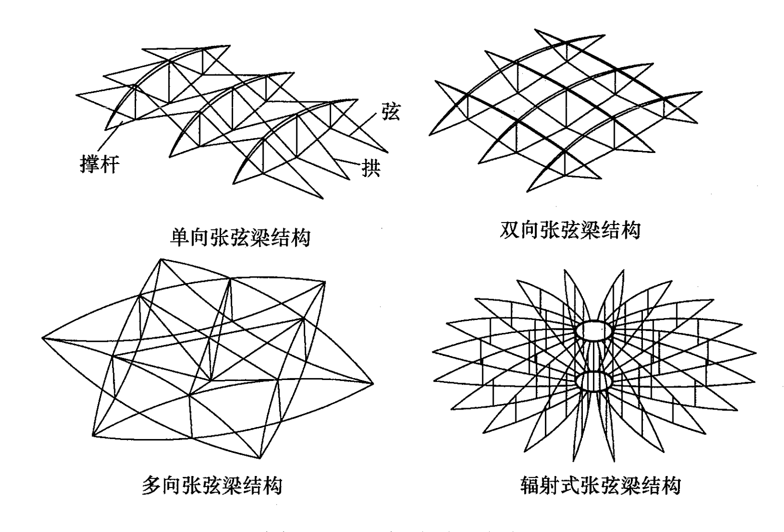


图 9-82　空间张弦梁结构

杆的上端与单层网壳对应的各环节点铰接，撑杆下端由径向拉索与单层网壳的下一环节点连接，同一环的撑杆下端由环向拉索连接在一起；使整个结构形成一个完整体系，结构的传力路径也比较明确（图 9-83）。

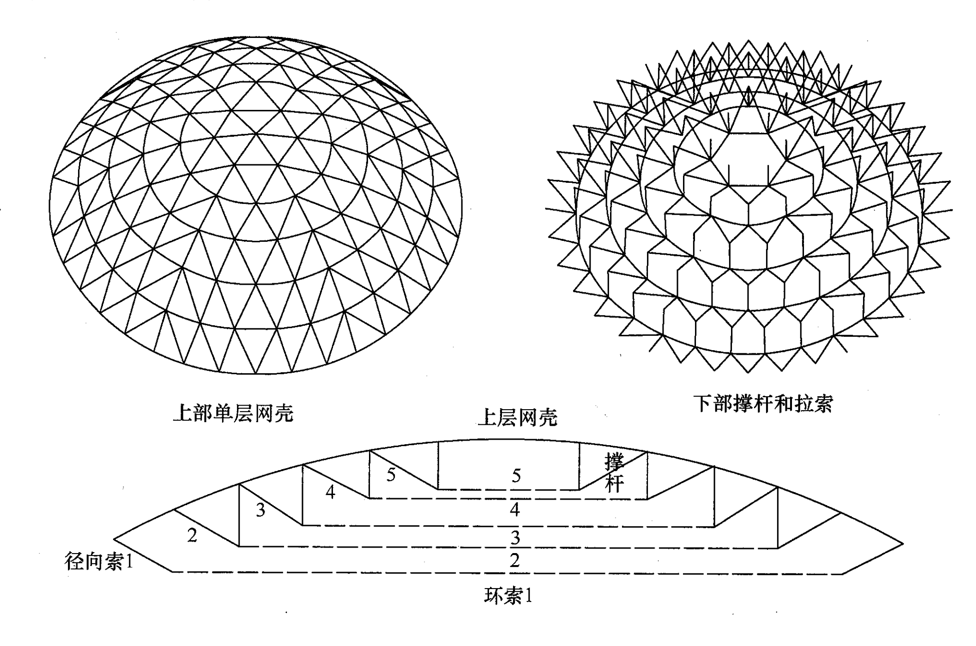


图 9-83　弦支穹顶结构

2. 弦支穹顶结构特点

弦支穹顶结构体系传力路径明确，在正常使用荷载下，内力通过上端的单层网壳传到下端的撑杆上，再通过撑杆传给索，索受力后产生对支座的反向推力，使整个结构对下端约束环梁的横向推力大大减小。

【要点】

◆ 大跨屋盖的结构形式多样，新形式也不断出现，在抗震设计时，常用的结构形式包

括：拱、平面桁架、立体桁架、网架、网壳、张弦梁、弦支穹顶共 7 类基本形式，以及由这些基本形式组合而成的大跨度钢屋盖建筑。采用非常用形式以及跨度大于 120m、结构单元长度大于 300m 或悬挑长度大于 40m 的大跨度钢屋盖建筑的抗震设计，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施。

◆ 对于悬索结构、膜结构、索杆张力结构等柔性屋盖体系，因抗震设计理论尚不成熟，抗震规范未列入。

◆ 存在拉索的预张拉屋盖结构，总体可分为三类（表 9-16）。

存在拉索的预张拉屋盖结构　　　　表 9-16

结构类型	结构形式
预应力结构	预应力桁架、网架和网壳等
悬挂（斜拉）结构	悬挂（斜拉）桁架、网架和网壳等
张弦结构	张弦梁结构、弦支穹顶结构

◆ 大跨屋盖体系分单向传力体系和空间传力体系（表 9-17）。

大跨屋盖结构传力体系　　　　表 9-17

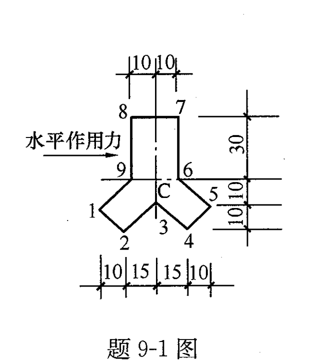
传力体系	结构形式
单向传力体系	平面拱、单向平面桁架、单向立体桁架、单向张弦梁等
空间传力体系	网架、网壳、双向立体桁架、双向张弦梁和弦支穹顶等

习　　题

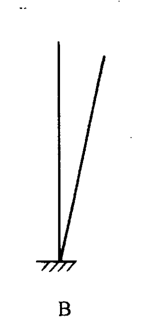
9-1　房屋的平面如下图，设刚度中心 C 和水平作用力间有偏心、则在水平力偏心引起的扭转作用中，平面哪一个部分受力最大？（　　）

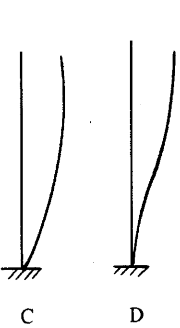
A　3，6，9 点　　B　1，5 点　　C　2，4 点　　D　7，8 点

9-2　图示剪力墙受均布侧力后其变形曲线应为下列何者？（　　）



题 9-1 图



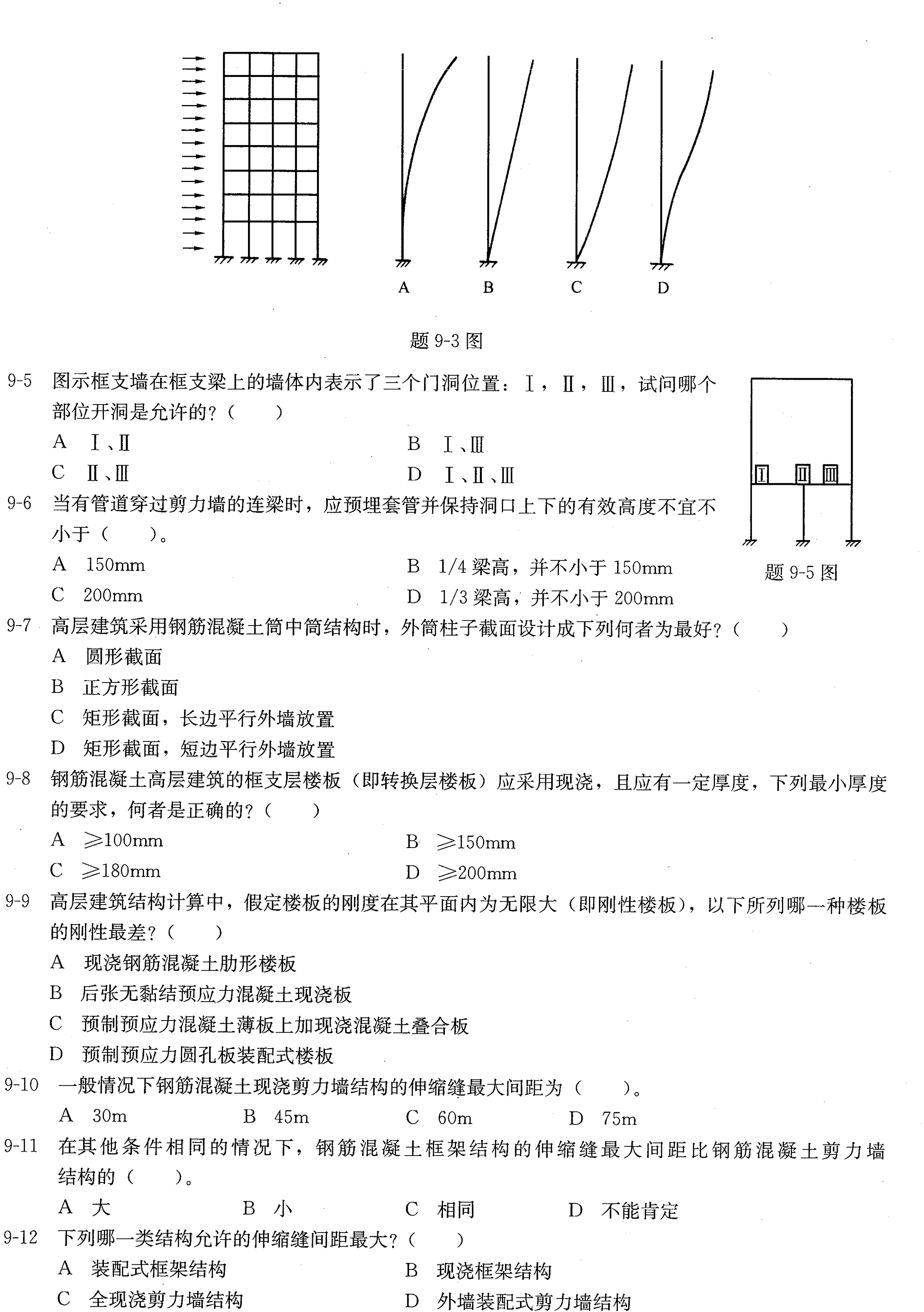


题 9-2 图

9-3　下页图示框架受均布侧力后其变形曲线应为何者？（　　）

9-4　在层数、房屋高度、平面尺寸、重量相同的情况下，在三种不同结构体系的房屋：Ⅰ. 框架结构；Ⅱ. 框-剪结构；Ⅲ. 剪力墙结构。其结构的基本自振周期，按从长到短排列为（　　）。

A　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　B　Ⅱ、Ⅲ、Ⅰ　　C　Ⅲ、Ⅰ、Ⅱ　　D　Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ



题 9-3 图

9-5 图示框支墙在框支梁上的墙体内表示了三个门洞位置：Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，试问哪个部位开洞是允许的？（　　）

A Ⅰ、Ⅱ　　B Ⅰ、Ⅲ

C Ⅱ、Ⅲ　　D Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

题 9-5 图

9-6 当有管道穿过剪力墙的连梁时，应预埋套管并保持洞口上下的有效高度不宜不小于（　　）。

A 150mm　　B 1/4 梁高，并不小于 150mm

C 200mm　　D 1/3 梁高，并不小于 200mm

9-7 高层建筑采用钢筋混凝土筒中筒结构时，外筒柱子截面设计成下列何者为最好？（　　）

A 圆形截面

B 正方形截面

C 矩形截面，长边平行外墙放置

D 矩形截面，短边平行外墙放置

9-8 钢筋混凝土高层建筑的框支层楼板（即转换层楼板）应采用现浇，且应有一定厚度，下列最小厚度的要求，何者是正确的？（　　）

A ≥100mm　　B ≥150mm

C ≥180mm　　D ≥200mm

9-9 高层建筑结构计算中，假定楼板的刚度在其平面内为无限大（即刚性楼板），以下所列哪一种楼板的刚性最差？（　　）

A 现浇钢筋混凝土肋形楼板

B 后张无黏结预应力混凝土现浇板

C 预制预应力混凝土薄板上加现浇混凝土叠合板

D 预制预应力圆孔板装配式楼板

9-10 一般情况下钢筋混凝土现浇剪力墙结构的伸缩缝最大间距为（　　）。

A 30m　　B 45m　　C 60m　　D 75m

9-11 在其他条件相同的情况下，钢筋混凝土框架结构的伸缩缝最大间距比钢筋混凝土剪力墙结构的（　　）。

A 大　　B 小　　C 相同　　D 不能肯定

9-12 下列哪一类结构允许的伸缩缝间距最大？（　　）

A 装配式框架结构　　B 现浇框架结构

C 全现浇剪力墙结构　　D 外墙装配式剪力墙结构

9-13 下列哪项措施对增大钢筋混凝土房屋伸缩缝的间距无效？（ ）

A 在温度变化影响较大的部位提高配筋率　B 采用架空通风屋面

C 顶部设局部温度缝　D 加强顶部楼层的刚度

9-14 高层建筑采用筒中筒结构时，下列四种平面形状中，受力性能最差的是（ ）。

A 圆形　B 三角形　C 正方形　D 正多边形

9-15 我国目前少数超高层建筑采用钢结构的主要原因是（ ）。

Ⅰ. 钢结构比钢筋混凝土结构造价低；Ⅱ. 钢结构轻质高强延性好，能建更高的建筑；Ⅲ. 钢结构施工速度快；Ⅳ. 钢结构综合经济效益好

A Ⅰ、Ⅱ　B Ⅱ、Ⅲ　C Ⅰ、Ⅲ　D Ⅲ、Ⅳ

9-16 根据《高层建筑混凝土结构技术规程》，非抗震设计区现浇框架结构适用的最大高度如下（ ）。

A 30m　B 40m　C 50m　D 70m

9-17 一建造于非地震区，高度为160m的现浇钢筋混凝土高层建筑，从结构上的合理性出发，最好采用下列哪一种结构体系？（ ）

A 剪力墙结构　B 筒中筒结构　C 框架-剪力墙结构　D 框架-筒体结构

9-18 国家标准设计图集中，上置1.5m×6m预应力屋面板的钢筋混凝土折线形屋架的最大跨度为（ ）。

A 15m　B 18m　C 21m　D 24m

9-19 纵墙承重的砌体房屋，适用于下列四类建筑中的哪几类？（ ）

Ⅰ. 住宅；Ⅱ. 办公楼；Ⅲ. 多层商场；Ⅳ. 教学楼

A Ⅰ、Ⅱ　B Ⅱ、Ⅲ　C Ⅱ、Ⅳ　D Ⅲ、Ⅳ

9-20 如右图所示变形曲线，是哪一种结构在水平载荷作用下的变形曲线？（ ）

A 框架结构　B 无梁楼盖结构

C 剪力墙结构　D 框架-剪力墙结构

反弯点

题9-20图

9-21 某单层房屋的屋面采用屋架，波纹薄钢板瓦覆盖，要求屋面有较大的坡度。下列几种钢屋架形式中，哪种形式最合适？（ ）

A 三角形屋架　B 梯形屋架　C 弧形屋架　D 平行弦屋架

9-22 下列关于网架结构的叙述，哪项是不正确的？（ ）

A 网架按外形分类有平面网架和曲面网架

B 平面网架可以是单层的，也可以是双层的

C 曲面网架可以是单层的，也可以是双层的

D 曲面网架可以做成单曲或双曲的

9-23 下列关于承受大跨度拱结构拱脚处水平推力的方式的叙述，哪项是不恰当的？（ ）

A 可用位于拱脚处的拉杆承受　B 可用两侧有足够刚度的框架结构承受

C 可用支承拱的独立支柱承受　D 位于良好地基的落地拱可以利用基础直接承受

9-24 下列关于高层建筑筒中筒结构的叙述，哪些是不正确的？（ ）

Ⅰ. 筒中筒结构宜采用对称平面；Ⅱ. 当为矩形平面时，长宽比不宜大于2；Ⅲ. 筒中筒结构的高宽比不宜大于3；Ⅳ. 外筒的柱距应大于层高

A Ⅰ、Ⅱ　B Ⅱ、Ⅲ　C Ⅲ、Ⅳ　D Ⅱ、Ⅳ

9-25 有一12m×16m平面，柱沿周边按4m间距布置，采用钢筋混凝土楼盖（不考虑预应力），为取得较大的楼层净高（压缩楼盖结构高度），下列各种结构布置中哪种最为合适？（ ）

A 12m跨、4m间距的主梁，另一方向采用2m间距的4跨连续次梁

B 16m跨、4m间距的主梁，另一方向采用2m间距的3跨连续次梁

C 沿长向柱列设两根主梁，并布置1m间距、12m跨的次梁

D 采用3×4格的井字梁

9-26　一幢单层的单身宿舍，平面为12m×52m，无抗震要求，拟采用框架结构，此时采用下列各种框架形式中的哪一种比较合适？（　　）

A　主要承重框架纵向布置，横向采用连系梁

B　主要承重框架横向布置，纵向采用连系梁

C　主要承重框架纵横两向布置

D　无梁式框架结构（无梁楼盖，取板带作为框架梁）

9-27　一幢四层轻工业加工厂房，平面尺寸为16m×48m，布置两条同样的纵向流程生产线，楼面活载5kN/m²，建设场地为非抗震设防区，风力也较小。现已确定采用现浇横向框架结构。下列各种框架布置中哪种最为合适？（　　）

A　单跨框架，跨度16m　　B　两跨框架，跨度8m+8m

C　两跨框架，跨度10m+6m　　D　三跨框架，跨度6m+4m+6m

参 考 答 案

9-1　D

9-2　A　［提示］　剪力墙受均布侧向水平荷载作用后，当剪力墙高宽比大于一定数值（如 $H/B>4$）后，呈弯曲变形，如剪力墙高宽比较小（如 $H/B<2$）后，上部呈剪切变形。剪力墙底部 A 点处为固定，故 A 点处变形曲线与墙轴线平行。高层剪力墙结构一般高宽比较大。

9-3　C　［提示］　题中框架受均布侧向水平荷载作用，框架变形呈剪切变形。

9-4　A　［提示］　当房屋层数、高度、平面尺寸、重量相同时，框架结构的基本自振周期最长，框-剪结构次之，剪力墙结构最短。

9-5　B　［提示］　框支墙在框支梁上的墙体内开洞，图示Ⅱ门洞位置是不允许的。

9-6　D　［提示］　根据《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2010）第2条，当管道穿过剪力墙的连梁时，应预埋套管，且洞口上下的有效高度不宜小于梁高的1/3，并不宜少于200mm。

9-7　C　［提示］　设计钢筋混凝土框筒时，外筒柱子一般不宜采用圆形或正方形柱，因为加大框筒壁厚对受力和刚度的效果远不如加大柱宽。框筒系空间整体受力，主要内力沿框架平面内分布，因此框筒宜采用扁宽矩形柱，柱的长边位于框架平面内。

9-8　C　［提示］　钢筋混凝土高层建筑的框支层楼板应采用现浇，且其厚度不应小于180mm。

9-9　D　［提示］　题中给出的4种楼盖形式，以预制预应力圆孔板装配式楼板的刚性最差。

9-10　B　［提示］　根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)第8.1.1条表8.1.1，一般情况下(可理解为屋面板上都有保温或隔热措施)，钢筋混凝土现浇剪力墙结构的伸缩缝最大间距为45m。

9-11　A　［提示］　根据《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）第8.1.1条表8.1.1，在其他条件相同时（如同为装配式或现浇式；又如同为在室内、土中或露天），钢筋混凝土框架结构的伸缩缝最大间距比钢筋混凝土剪力墙结构的大。

9-12　A　［提示］　根据《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）第8.1.1条表8.1.1，钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距（以处于室内或土中为例）：

装配式框架结构：75m；

现浇框架结构：55m；

全现浇剪力墙结构：45m；

外墙装配内墙现浇的剪力墙结构：45m。

9-13　D　［提示］　当采用架空通风屋面，顶部设局部温度缝，钢筋混凝土房屋伸缩缝的间距可以增大。

9-14　B　［提示］　高层建筑采用筒中筒结构时，为了防止产生显著的扭转，最好采用具有双对称轴的平面。首选圆形，其次是正多边形（如六边形）、正方形和矩形。相对上述平面，三角形平面的性能

较差，但建筑设计出于建筑艺术和功能的要求，常广泛采用三角形。三角形平面以正三角形为好，因具有三根对称轴；有时也将正三角形演化为曲线三角形。直角三角形只有一根对称轴，且直角处的角柱受力过分集中，为了避免应力过分集中，三角形平面常将角部分切去，角部常设刚度较大的角柱或角筒。

9-15 B　9-16 D　9-17 B　9-18 D　9-19 C　9-20 D　9-21 A
9-22 B　9-23 C　9-24 C　9-25 D　9-26 B　9-27 B

第十章　建筑结构上的作用及设计方法

第一节　建筑结构上的作用

一、荷载和效应概念

（一）结构上的作用、作用效应和结构抗力

结构产生各种效应的原因，统称为结构上的作用。结构上的作用包括直接作用和间接作用。直接作用指的是施加在结构上的集中力或分布力，例如结构自重、楼面活荷载和设备自重等，其计算一般比较简单，引起的效应比较直观。间接作用指的是引起结构外加变形或约束变形的作用，例如温度的变化、混凝土的收缩或徐变、地基的变形、焊接变形和地震等，其作用不是以直接施加在结构上的形式出现的，但同样引起结构产生效应。间接作用的计算和引起的效应一般比较复杂，例如地震会引起建筑物产生裂缝、倾斜下沉以至倒塌，这些破坏效应不仅仅与地震震级、烈度有关，还与建筑物所在场地的地基条件、建筑物的基础类型和上部结构体系有关。

根据目前结构理论发展水平以及现有规范颁布的现状，对直接作用在结构上的荷载可按《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012（以下简称《荷载规范》）的规定采用，对间接作用，除了对温度作用及地震作用按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010（以下简称《抗震规范》）的规定采用外，其余的间接作用暂时还未制定相应的规范。

考虑到广大设计人员的现状及习惯上的衔接，而将其直接作用简称为荷载，条文的用词中涉及温度作用有关内容时不再区分作用与荷载，统一以荷载来表述。

作用在结构上的直接作用或间接作用，将引起结构或结构构件产生内力（如轴力、弯矩、剪力、扭矩等）和变形（如挠度、转角、侧移、裂缝等），这些内力和变形总称为作用效应，其中由直接作用产生的作用效应称为荷载效应。

结构或结构构件承受内力和变形的能力，称为结构的抗力，如构件的承载能力、刚度的大小、抗裂缝的能力等。结构抗力与结构构件的截面形式、截面尺寸及材料强度等级等因素有关。

（二）作用及荷载的分类

结构上的各种作用是一个不确定的随机变量。在《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001（以下简称《结构可靠度标准》）中，规定设计基准期为 50 年，在这段时间内，作用不仅在量值上是变化的，并且，作用在结构上的时间持续性也是变化的。因此在《结构可靠度标准》中，将作用按以下原则进行了分类。

1. 按随时间变异分类

（1）永久作用（亦称恒载）。在设计基准期内，其量值不随时间变化，或即使有变化，其变化值与平均值相比可以忽略不计的作用。永久荷载包括结构构件、围护构件面层及装饰、固

定设备、长期储物的自重，土压力、水压力，以及其他需要按永久荷载考虑的荷载。

结构自重的标准值可按结构构件的设计尺寸与材料单位体积的自重计算确定。

一般材料和构件的单位自重可取其标准值，对于自重变异较大的材料和构件，自重的标准值应根据对结构的不利或有利状态，分别取上限值或下限值。固定隔墙自重可按永久荷载考虑，灵活隔墙自重应按可变荷载考虑。

（2）可变作用（亦称活载）。在设计基准期内，其量值随时间变化，且其变化值与平均值相比不能忽略的作用。如楼（屋）面活荷载、屋面积灰荷载、雪荷载、风荷载、吊车荷载、温度作用、水浮力（抗浮计算）、直升机停机坪荷载等。

（3）偶然作用。在设计基准期内，可能出现，也可能不出现，但一旦出现，其量值很大且持续时间很短的作用。如地震、爆炸力、撞击力、人防核爆冲击荷载等。

2. 按随空间位置的变异分类

（1）固定作用。在结构空间位置上具有固定分布的作用。如结构自重、楼面上的固定设备荷载等。

（2）自由作用。在结构上的一定范围内可以任意分布的作用。如民用建筑楼面上的活荷载、工业建筑中的吊车荷载等。

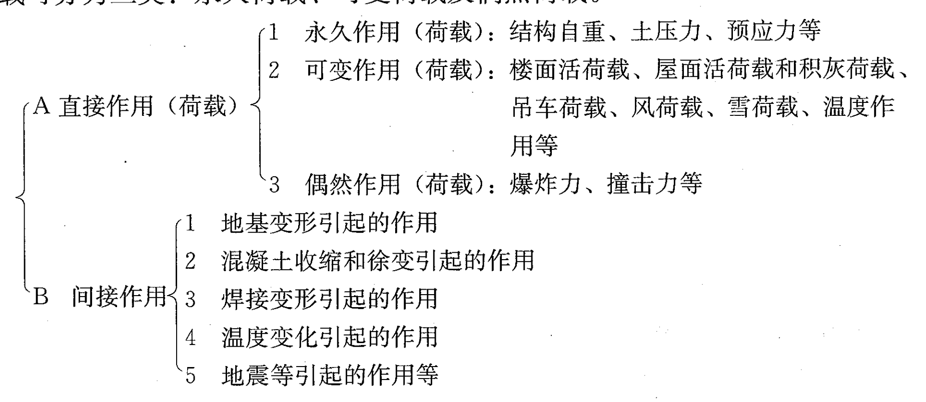
3. 按结构的动力反应分类

（1）静态作用。对结构或结构构件不产生加速度或产生的加速度很小可以忽略不计。如结构的自重、楼面的活荷载等。

（2）动态作用。对结构或构件产生不可忽略的加速度。如吊车荷载、地震作用、作用在高层建筑上的风荷载等。

以上活载不一定是动态作用，而动态作用属于活载。

《荷载规范》中规定，建筑结构设计中涉及的作用应包括直接作用（荷载）和间接作用。《荷载规范》仅对荷载和温度作用作出规定，有关可变荷载的规定同样适用于温度作用。荷载可分为三类：永久荷载、可变荷载及偶然荷载。



（三）荷载的代表值

设计中用来验算极限状态所采用的荷载量值有 4 种，例如标准值、组合值、频遇值和准永久值。

1. 荷载标准值

荷载标准值是指在结构的设计基准期内，在正常情况下可能出现的最大荷载值，例如在《荷载规范》中，住宅楼面的均布活荷载规定为 2.0kN/m^2。

对于永久荷载的标准值，是按结构构件的尺寸（如梁、柱的断面）与构件采用材料的重度的标准值（如梁、柱材料为钢筋混凝土，则其重度的标准值一般取 $25kN/m^3$）来确定的数值。对常用材料重度，可按《荷载规范》附录 A 采用。

对于可变荷载的标准值，则由设计基准期内最大荷载概率分布的某一分位数来确定，一般取具有 95%保证率的上分位值，但对许多还缺少研究的可变荷载，通常还是沿用传统的经验数值。对可变荷载的标准值，可按《荷载规范》的规定采用。

2. 荷载组合值

当结构上作用两种或两种以上的可变荷载时，考虑到其同时达到最大值的可能性较少，因此，在按承载能力极限状态设计或按正常使用极限状态的短期效应组合设计时，应采用荷载的组合值作为可变荷载的代表值。

可变荷载的组合值，为可变荷载乘以荷载组合值系数。组合值系数见《荷载规范》表 5.1.1。

3. 荷载频遇值

可变荷载频遇值是正常使用极限状态按频遇组合设计所采用的一种可变荷载代表值。在设计基准期内，荷载达到和超过该值的总持续时间仅为设计基准期的一小部分。

可变荷载频遇值应取可变荷载标准值乘以荷载频遇值系数。荷载频遇值系数见《荷载规范》表 5.1.1。

达到荷载值的频率越大，频遇值系数越大，频遇值亦越大（如书库频遇值系数为 0.9，住宅频遇值系数为 0.5）。

频遇组合目前仅在桥梁结构设计中应用。

4. 荷载准永久值

对可变荷载，在设计基准期内，其超越的总时间约为设计基准期一半的荷载值。

作用在建筑物上的可变荷载（如住宅楼面上的均布活荷载为 $2.0kN/m^2$），其中有部分是长期作用在上面的（可以理解为在设计基准期 50 年内，不少于 25 年），而另一部分则是不出现的。因此，我们也可以把长期作用在结构物上面的那部分可变荷载看作是永久活载来对待，这就是荷载准永久值。可变荷载的准永久值，为可变荷载标准值乘以荷载准永久值系数 φ_q。也就是说，准永久值系数 φ_q 为荷载准永久值与荷载标准值的比值，其值恒小于 1.0。

在《荷载规范》中，规定了各种不同建筑楼面上均布活荷载的准永久值系数 φ_q，如对住宅楼面的均布活荷载，其准永久值系数 $\varphi_q=0.4$，而对书库、档案库则 $\varphi_q=0.8$，这表示了对不同用途的建筑物，其准永久值系数 φ_q 是不同的。φ_q 的大小表示了均布活荷载数值变动的大小，φ_q 大表示变动较小，φ_q 小则表示变动大。如住宅楼面的均布活荷载标准值为 $2.0kN/m^2$，准永久值系数 $\varphi_q=0.4$，因此，荷载准永久值为 $2.0\times0.4=0.8kN/m^2$；而对一般书库、档案库楼面均布活荷载为 $5.0kN/m^2$，准永久值系数 $\varphi_q=0.8$，因此荷载准永久值为 $5.0\times0.8=4.0kN/m^2$。

上述 4 个荷载量值中，荷载标准值包含永久荷载和可变荷载，而组合值、频遇值和准永久值仅指可变荷载。

根据表 10-1，标准值＞组合值＞频遇值＞准永久值。

建筑结构设计时，对不同荷载应采用不同的代表值。

（1）对永久荷载应采用标准值作为代表值。

（2）对可变荷载应根据设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值作为代表

值。当结构仅承受一种可变荷载时，应采用标准值作为荷载代表值；当结构承受两种以上可变荷载时，应采用组合值作为荷载代表值。

(3) 对偶然荷载应按建筑结构使用的特点确定其代表值。

(4) 确定可变荷载代表值时，应采用 50 年设计基准期。

(四) 荷载分项系数与荷载设计值

1. 荷载分项系数

荷载分项系数是在设计计算中，反映了荷载的不确定性并与结构可靠度概念相关联的一个数值。对永久荷载和可变荷载，规定了不同的分项系数。

(1) 永久荷载分项系数 γ_G：当永久荷载对结构产生的效应对结构不利时，对由可变荷载效应控制的组合取 $\gamma_G=1.2$；对由永久荷载效应控制的组合，取 $\gamma_G=1.35$。当产生的效应对结构有利时，一般情况下取 $\gamma_G=1.0$；当验算倾覆、滑移或抗浮时，荷载的分项系数应满足有关建筑结构设计规范的规定。

(2) 可变荷载分项系数 γ_Q：一般情况下取 $\gamma_Q=1.4$；但对工业房屋的楼面结构，当其活荷载标准值大于 $4kN/m^2$ 时，考虑到活荷载数值已较大，则取 $\gamma_Q=1.3$。

根据推导，当永久荷载占总荷载超过 75%以上时，可按永久荷载控制来考虑。

楼面或屋面活荷载，应考虑设计使用年限乘以调整系数 γ_L，使用年限为 5、50、100 年时，γ_L 分别为 0.9、1.0、1.1。

2. 荷载设计值

荷载设计值等于荷载代表值乘以荷载分项系数。按承载能力极限状态计算荷载效应时，需考虑荷载分项系数；按正常使用极限状态计算荷载效应时（不管是考虑荷载的短期效应组合还是长期效应组合），由于对正常使用极限状态的可靠度比对承载能力极限状态的可靠度要求可以适当放松，因此不考虑分项系数，即分项系数=1.0。

(五) 材料强度指标的取值

1. 强度标准值

材料强度标准值为结构设计时采用的材料性能的基本代表值，具有 95%的保证率。一般由工厂或现场实验确定。

2. 材料分项系数

材料强度分项系数是在按承载能力极限状态设计时，按可靠度指标 [β] 值在计算中所采用的系数值。在我国规范中，通过 [β] 值、材料几何参数及荷载基本参量，求出各种结构用的材料分项系数。对混凝土，材料分项系数取 $\gamma_c=1.4$；对延性较好的热轧钢筋，γ_s 取 1.10；对新规范列入的高强度 500MPa 钢筋，γ_s 取 1.15；对预应力筋 γ_s 一般不小于 1.20。对各类砌体的各种强度，取 $\gamma_f=1.5$。

3. 材料强度设计值

指材料强度标准值除以材料分项系数值后的值。

在承载能力极限状态设计中，采用材料强度设计值。

二、荷载的标准值

(一) 民用建筑楼面均布活荷载

1. 楼面活荷载是房屋结构设计中的主要荷载。

《荷载规范》规定的民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值、准永久值

系数如表 10-1 所列。

民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数　　表 10-1

<table>
<tr><th>项次</th><th colspan="3">类　　别</th><th>标准值 (kN/m²)</th><th>组合值系数 ψ_c</th><th>频遇值系数 ψ_f</th><th>准永久值系数 ψ_q</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td colspan="3">(1) 住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、托儿所、幼儿园</td><td>2.0</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td colspan="3">(2) 试验室、阅览室、会议室、医院门诊室</td><td>2.0</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="3">教室、食堂、餐厅、一般资料档案室</td><td>2.5</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td colspan="3">(1) 礼堂、剧场、影院、有固定座位的看台</td><td>3.0</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td colspan="3">(2) 公共洗衣房</td><td>3.0</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td colspan="3">(1) 商店、展览厅、车站、港口、机场大厅及其旅客等候室</td><td>3.5</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td colspan="3">(2) 无固定座位的看台</td><td>3.5</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td colspan="3">(1) 健身房、演出舞台</td><td>4.0</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td colspan="3">(2) 运动场、舞厅</td><td>4.0</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td colspan="3">(1) 书库、档案库、贮藏室</td><td>5.0</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td colspan="3">(2) 密集柜书库</td><td>12.0</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>7</td><td colspan="3">通风机房、电梯机房</td><td>7.0</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td rowspan="4">8</td><td rowspan="4">汽车通道及客车停车库</td><td rowspan="2">(1) 单向板楼盖（板跨不小于 2m）和双向板楼盖（板跨不小于 3m×3m）</td><td>客车</td><td>4.0</td><td>0.7</td><td>0.7</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>消防车</td><td>35.0</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(2) 双向板楼盖（板跨不小于 6m×6m）和无梁楼盖（柱网不小于 6m×6m）</td><td>客车</td><td>2.5</td><td>0.7</td><td>0.7</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>消防车</td><td>20.0</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">9</td><td rowspan="2">厨房</td><td colspan="2">(1) 餐厅</td><td>4.0</td><td>0.7</td><td>0.7</td><td>0.7</td></tr>
<tr><td colspan="2">(2) 其他</td><td>2.0</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>10</td><td colspan="3">浴室、卫生间、盥洗室</td><td>2.5</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">11</td><td rowspan="3">走廊、门厅</td><td colspan="2">(1) 宿舍、旅馆、医院病房、托儿所、幼儿园、住宅</td><td>2.0</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td colspan="2">(2)办公楼、餐厅、医院门诊部</td><td>2.5</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td colspan="2">(3)教学楼及其他可能出现人员密集的情况</td><td>3.5</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">楼梯</td><td colspan="2">(1)多层住宅</td><td>2.0</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td colspan="2">(2)其他</td><td>3.5</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">13</td><td rowspan="2">阳台</td><td colspan="2">(1)可能出现人员密集的情况</td><td>3.5</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td colspan="2">(2)其他</td><td>2.5</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr>
</table>

注：1. 本表所给各项活荷载适用于一般使用条件，当使用荷载较大、情况特殊或有专门要求时，应按实际情况采用；
2. 第 6 项书库活荷载，当书架高度大于 2m 时，书库活荷载尚应按每米书架高度不小于 2.5kN/m² 确定；
3. 第 8 项中的客车活荷载仅适用于停放载人少于 9 人的客车；消防车活荷载适用于满载总重为 300kN 的大型车辆；当不符合本表的要求时，应将车轮的局部荷载按结构效应的等效原则，换算为等效均布荷载；
4. 第 8 项消防车活荷载，当双向板楼盖板跨介于 3m×3m～6m×6m 之间时，应按跨度线性插值确定；
5. 第 12 项楼梯活荷载，对预制楼梯踏步平板，尚应按 1.5kN 集中荷载验算；
6. 本表各项荷载不包括隔墙自重和二次装修荷载。对固定隔墙的自重应按永久荷载考虑，当隔墙位置可灵活自由布置时，非固定隔墙的自重应取不小于 1/3 的每延米长墙重（kN/m）作为楼面活荷载的附加值（kN/m²）计入，附加值不小于 1.0kN/m²。

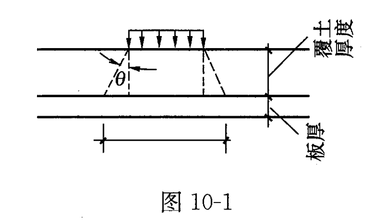


图 10-1

考虑覆土对楼面消防车活载的影响时，楼面消防车活载标准值可按《荷载规范》表 B. 0. 1(单向板)、B. 0. 2(双向板)进行折减。覆土越深，折减越多；板跨度越大，折减越少。

覆土厚度修正计算：当板有覆土时，由于荷载传递中的扩散作用，消防车轮压传递到板表面时作用面积扩大，因此计算得到的等效均布荷载比轮压直接作用在板表面时要少，即板顶覆土厚度可进行折减，如图 10-1 所示。设计基础时，可不考虑消防车荷载。

$$\overline{S}=1.43S\tan\theta$$

式中 S——覆土厚度（m）；

$\overline{S}$——折算覆土厚度（m）；

θ——覆土应力扩散角，不大于 45°。

2. 设计楼面梁、墙、柱及基础时，表 10-1 中的楼面活荷载标准值的折减系数不应小于下列规定：

（1）设计楼面梁时：

1）第 1（1）项当楼面梁从属面积超过 25m² 时，应取 0.9；

2）第 1（2）～7 项当楼面梁从属面积超过 50m² 时，应取 0.9；

3）第 8 项对单向板楼盖的次梁和槽形板的纵肋应取 0.8；

对单向板楼盖的主梁应取 0.6；

对双向板楼盖的梁应取 0.8；

4）第 9～13 项应采用与所属房屋类别相同的折减系数。

（2）设计墙、柱和基础时的折减系数（主要讨论活荷载的层层折减）：

楼面结构上的局部荷载按《荷载规范》附录 C 换算为等效均布活荷载。

1）第 1（1）项应按表 10-2 规定采用；

2）第 1（2）～7 项应采用与其楼面梁相同的折减系数；

3）第 8 项的客车，对单向板楼盖应取 0.5；对双向板楼盖和无梁楼盖应取 0.8；

4）第 9～13 项应采用与所属房屋类别相同的折减系数。

注：楼面梁的从属面积应按梁两侧各延伸二分之一梁间距的范围内的实际面积确定。

活荷载按楼层的折减系数 **表 10-2**

墙、柱、基础计算截面以上的层数	1	2～3	4～5	6～8	9～20	>20
计算截面以上各楼层活荷载总和的折减系数	1.00 (0.90)	0.85	0.70	0.65	0.60	0.55

注：当楼面梁的从属面积超过 25m² 时，应采用括号内的系数。

（二）民用建筑屋面均布活荷载

1. 房屋建筑的屋面，其水平投影面上的屋面均布活荷载的标准值及其组合值系数、频遇值系数和准永久值系数的取值，不应小于表 10-3 的规定。

2. 屋面直升机停机坪荷载应按下列规定采用：

（1）屋面直升机停机坪荷载应按局部荷载考虑，或根据局部荷载换算为等效均布荷载考虑。局部荷载标准值应按直升机实际最大起飞重量确定，当没有机型技术资料时，可按表 10-4 的规定选用局部荷载标准值及作用面积。

屋面均布活荷载标准值及其组合值系数、频遇值系数和准永久值系数　　表 10-3

项　次	类　　别	标准值 (kN/m²)	组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q
1	不上人的屋面	0.5	0.7	0.5	0.0
2	上人的屋面	2.0	0.7	0.5	0.4
3	屋顶花园	3.0	0.7	0.6	0.5
4	屋顶运动场地	3.0	0.7	0.6	0.4

注：1. 不上人的屋面，当施工或维修荷载较大时，应按实际情况采用；对不同类型的结构应按有关设计规范的规定采用，但不得低于 0.3kN/m²；

2. 当上人的屋面兼作其他用途时，应按相应楼面活荷载采用；

3. 对于因屋面排水不畅、堵塞等引起的积水荷载，应采取构造措施加以防止；必要时，应按积水的可能深度确定屋面活荷载；

4. 屋顶花园活荷载不应包括花圃土石等材料自重。

屋面直升机停机坪局部荷载标准值及作用面积　　表 10-4

类型	最大起飞重量 (t)	局部荷载标准值 (kN)	作用面积
轻型	2	20	0.20m×0.20m
中型	4	40	0.25m×0.25m
重型	6	60	0.30m×0.30m

(2) 屋面直升机停机坪的等效均布荷载标准值不应低于 5.0kN/m²。

(3) 屋面直升机停机坪荷载的组合值系数应取 0.7，频遇值系数应取 0.6，准永久值系数应取 0。

3. 不上人的屋面均布活荷载，可不与雪荷载和风荷载同时组合。

(三) 施工和检修荷载及栏杆水平荷载

1. 施工和检修荷载应按下列规定采用：

(1) 设计屋面板、檩条、钢筋混凝土挑檐、悬挑雨篷和预制小梁时，施工或检修集中荷载（人和小工具的自重）应取 1.0kN，并应在最不利位置处进行验算。

(2) 对于轻型构件或较宽构件，应按实际情况验算，或应加垫板、支撑等临时设施。

(3) 当计算挑檐、悬挑雨篷承载力时，应沿板宽每隔 1.0m 取一个集中荷载；在验算挑檐、悬挑雨篷的倾覆时，应沿板宽每隔 2.5～3.0m 取一个集中荷载。

2. 楼梯、看台、阳台和上人屋面等的栏杆顶部水平荷载，应按下列规定采用：

(1) 住宅、宿舍、办公楼、旅馆、医院、托儿所、幼儿园，应取 1.0kN/m；

(2) 学校、食堂、剧场、电影院、车站、礼堂、展览馆或体育场，应取 1.0kN/m。竖向荷载应取 1.2kN/m，水平荷载与竖向荷载应分别考虑。

3. 施工荷载、检修荷载及栏杆荷载的组合值系数应取 0.7，频遇值系数应取 0.5，准永久值系数应取 0。

例 10-1 **（2012）** 下列对楼梯栏杆顶部水平荷载的叙述，何项正确？

A　所有工程的楼梯栏杆顶部都不需要考虑

B　所有工程的楼梯栏杆顶部都需要考虑

C　学校等人员密集场所楼梯栏杆顶部需要考虑，其他不需要考虑

D　幼儿园、托儿所等楼梯栏杆顶部需要考虑，其他不需要考虑

答案： B

规范：《建筑结构荷载规范》第 5.5.2 条。

（四）雪荷载

雪荷载是房屋屋面结构的主要荷载之一。在寒冷地区的大跨度结构和轻型结构，对雪荷载更为敏感。

雪在屋面上的积存对结构产生的作用，与当地的地面积雪大小及气候条件等密切相关。

1. 雪荷载标准值及基本雪压

《荷载规范》规定，屋面水平投影面上的雪荷载标准值，应按下式计算：

$$s_k = \mu_r s_0 \tag{10-1}$$

式中　s_k——雪荷载标准值（kN/m^2）；

μ_r——屋面积雪分布系数；

s_0——基本雪压（kN/m^2）。

基本雪压应采用规范规定的 50 年重现期的雪压；对雪荷载敏感的结构（主要指大跨、轻质屋盖结构），应采用 100 年重现期的雪压。

基本雪压应按《荷载规范》全国基本雪压分布图的规定采用。山区的基本雪压，当无实测资料时，可按当地邻近空旷平坦地面的基本雪压值乘以 1.2 采用。

全国基本雪压标准值范围为 0～1.0kN/m^2（个别地区，如新疆阿尔泰山区达 1.65kN/m^2），在无雪地区，雪荷载可以为零。

雪荷载的组合值系数可取 0.7；频遇值系数可取 0.6；准永久值系数应按雪荷载分区Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的不同，分别取 0.5、0.2 和 0；雪荷载分区按《荷载规范》的规定采用。

2. 屋面积雪分布系数

屋面积雪分布系数实际上就是将地面基本雪压换算为屋面雪荷载的换算系数，它与屋面形式、朝向及风力等因素有关。

《荷载规范》规定的屋面积雪分布系数，应根据不同类别的屋面形式，按表 10-5 采用。

屋面积雪分布系数 μ_r　　**表 10-5**

项次	类别	屋面形式及积雪分布系数
1	单跨单坡屋面	μ_r　α

α	≤25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	≥60°
μ_r	1.0	0.85	0.7	0.55	0.4	0.25	0.1	0

续表

项　次	类　别	屋 面 形 式 及 积 雪 分 布 系 数
2	单跨双坡屋面	均匀分布的情况　μ_r 不均匀分布的情况　$0.75\mu_r$　$1.25\mu_r$ α μ_r 按第 1 项规定采用
3	拱形屋面	**均匀分布的情况**　μ_r **不均匀分布的情况**　$0.5\mu_{r,m}$　$\mu_{r,m}$ $l_c/4$　$l_c/4$　$l_c/4$　$l_c/4$ l_c $\mu_r=l/(8f)$ $(0.4\leqslant\mu_r\leqslant1.0)$　$60°$　f l $\mu_{r,m}=0.2+10f/l\ (\mu_{r,m}\leqslant2.0)$
4	带天窗的坡屋面	均匀分布的情况　1.0 不均匀分布的情况　1.1　0.8　1.1 α
5	带天窗有挡风板的坡屋面	均匀分布的情况　1.0 不均匀分布的情况　1.0　1.4　0.8　1.4　1.0 α
6	多跨单坡屋面（锯齿形屋面）	均匀分布的情况　1.0 不均匀分布的情况1　0.6　1.4　0.6　1.4　0.6　1.4 $l/2$　$l/2$ 不均匀分布的情况2　2.0　2.0　2.0　μ_r　μ_r　μ_r $l/2$　$l/2$ α l　l μ_r 按第 1 项规定采用

续表

项次	类别	屋面形式及积雪分布系数
7	双跨双坡或拱形屋面	均匀分布的情况 1.0 不均匀分布的情况1 μ_r 1.4 μ_r 不均匀分布的情况2 μ_r 2.0 μ_r α f l l μ_r 按第1或3项规定采用
8	高低屋面	情况1 1.0 $\mu_{r,m}$ 1.0 a 情况2 1.0 2.0 1.0 a h b_1 b_2 ; b_1 $b_2<a$ $a=2h$（4m<a<8m） $\mu_{r,m}=(b_1+b_2)/2h$（$2.0\leqslant\mu_{r,m}\leqslant4.0$）
9	有女儿墙及其他突起物的屋面	$\mu_{r,m}$ μ_r $\mu_{r,m}$ a a h $a=2h$ $\mu_{r,m}=1.5h/s_0$（$1.0\leqslant\mu_{r,m}\leqslant2.0$）
10	大跨屋面（l>100m）	$0.8\mu_r$ $1.2\mu_r$ $0.8\mu_r$ $l/4$ $l/2$ $l/4$ l 1. 还应同时考虑第2项、第3项的积雪分布； 2. μ_r 按第1或3项规定采用

设计建筑结构及屋面的承重构件时，可按下列规定考虑积雪的分布情况：屋面板和檩条按积雪不均匀分布的最不利情况考虑；屋架可分别按全跨积雪均匀分布、不均匀分布和半跨积雪的均匀分布的最不利情况考虑；框架和柱可按全跨积雪的均匀分布情况考虑。

对雪荷载敏感的结构，基本雪压应适当提高，并应由有关的结构设计规范具体规定。

（五）风荷载

风荷载是建筑结构上的一种主要的直接作用，对高层建筑尤为重要。

风压随高度而增大，且与地面的粗糙度有关；建筑物体形与尺寸不同，作用在建筑物表面上的实际风压力（或吸力）不同；风压不是静态压力，实际上是脉动风压，对于高宽比较大的房屋结构，应考虑风的动力效应。

1. 风荷载标准值及基本风压

垂直于建筑物表面上的风荷载标准值，应按下述公式计算：

（1）当计算主要承重结构时

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \tag{10-2}$$

式中 w_k——风荷载标准值（kN/m^2）；

β_z——高度 z 处的风振系数；

μ_s——风荷载体型系数；

μ_z——风压高度变化系数；

w_0——基本风压（kN/m^2）。

（2）当计算围护结构时

$$w_k = \beta_{gz} \mu_{s1} \mu_z w_0 \tag{10-3}$$

式中 β_{gz}——高度 z 处的阵风系数。计算直接承受风压的幕墙构件（包括门窗）风荷载时的阵风系数按《荷载规范》表 8.6.1 确定，其值与离地面高度及地面粗糙度类别有关。从表中可以看出：

1）当地面粗糙度相同时，离地面越高，β_{gz}值越小；

2）对同一高度，β_{gz}则 A 区＜B 区＜C 区＜D 区；

3）β_{gz}值的变化为 1.40～2.40。

对其他屋面，墙面构件阵风系数取 1.0。

μ_{s1}——局部风压体型系数。

基本风压应按《荷载规范》附录 D.4 表 D.4 给出的 50 年一遇的风压采用，但不得小于 $0.3kN/m^2$。

全国基本风压标准值范围为 $0.3 \sim 0.9kN/m^2$（个别地区，如台湾按 50 年一遇，宜兰县达到 $1.85kN/m^2$）。

对于高层建筑、高耸结构以及对风荷载比较敏感的其他结构，基本风压应适当提高，并应由有关的结构设计规范具体规定。

例 10-2 （2010）对于特别重要或对风荷载比较敏感的高层建筑，确定基本风压的重现期应为下列何值？

A　10 年　　　B　25 年　　　C　50 年　　　D　100 年

提示： 根据《荷载规范》第 8.1.2 条及《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010 第 4.2.2 条，基本风压应采用按规定的方法确定的 50 年重现期的风压，但不得小于 0.3kN/m^2。对于高层建筑、高耸建筑以及对风荷载比较敏感的其他建筑结构，基本风压的取值应适当提高，并应符合有关结构设计规范的规定。根据《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010 第 4.2.2 条：对风荷载比较敏感的高层建筑，承载力设计时按基本风压的 1.1 倍采用。即现规范不强调按 100 年重现期的风压值采用，而是直接按基本风压值的 1.1 倍采用。

答案： C

2. 地面粗糙度与风压高度变化系数 μ_z

对于平坦或稍有起伏的地形，风压高度变化系数应根据地面粗糙度类别按表 10-6 确定。

地面粗糙度可分为 A、B、C、D 四类：

（1）A 类指近海海面和海岛、海岸、湖岸及沙漠地区；

（2）B 类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区；

（3）C 类指有密集建筑群的城市市区；

（4）D 类指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。

风压高度变化系数 μ_z　　　　**表 10-6**

离地面或海平面高度 (m)	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
5	1.09	1.00	0.65	0.51
10	1.28	1.00	0.65	0.51
15	1.42	1.13	0.65	0.51
20	1.52	1.23	0.74	0.51
30	1.67	1.39	0.88	0.51
40	1.79	1.52	1.00	0.60
50	1.89	1.62	1.10	0.69
60	1.97	1.71	1.20	0.77
70	2.05	1.79	1.28	0.84
80	2.12	1.87	1.36	0.91
90	2.18	1.93	1.43	0.98
100	2.23	2.00	1.50	1.04
150	2.46	2.25	1.79	1.33
200	2.64	2.46	2.03	1.58
250	2.78	2.63	2.24	1.81
300	2.91	2.77	2.43	2.02
350	2.91	2.91	2.60	2.22
400	2.91	2.91	2.76	2.40
450	2.91	2.91	2.91	2.58
500	2.91	2.91	2.91	2.74
⩾550	2.91	2.91	2.91	2.91

从表 10-6 中，可以看出：

1）当地面粗糙度类别相同时，离地面越高，μ_z 值越大，但当达到一定高度后，μ_z 越接近以至相同；

2）对同一高度，μ_z 则 A 区＞B 区＞C 区＞D 区，但当高度达到 550m 后，其值相同；

3）表中 μ_z 变化为从 0.51 至 2.91，当离地面 5～10m 高，B 类时，μ_z＝1.0。

3. 风荷载体型系数 μ_s

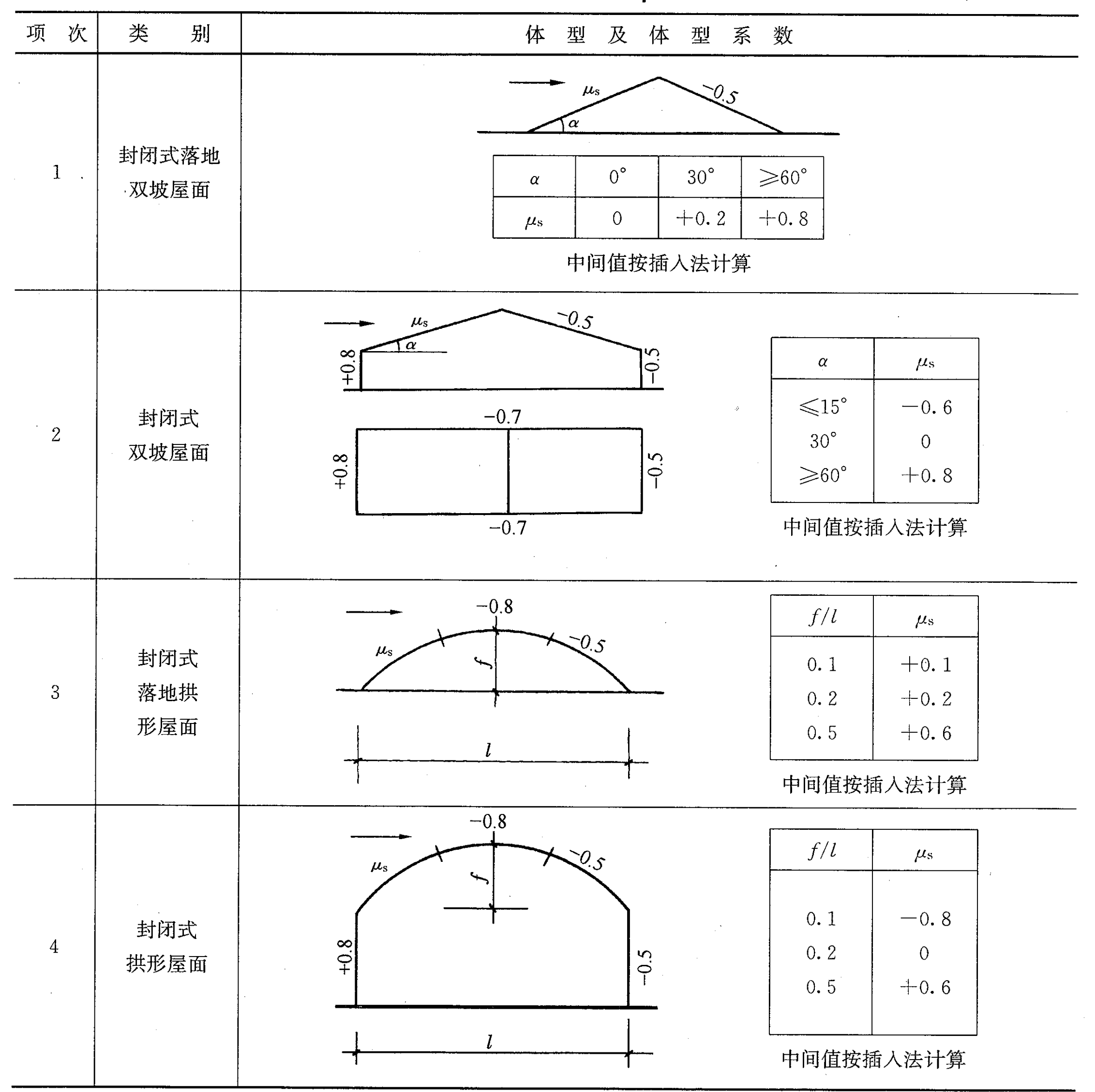
风速只是代表在自由气流中各点的风速。气流以不同形式在房屋表面绕过，房屋对气流形成某种干扰，因此房屋设计时不能直接以自由气流的风速作为结构荷载。

风压在建筑物各表面上的分布是不均匀的，设计上取其平均值采用。

在房屋的迎风墙面上，墙面受正风压（压力）；在背风墙面上受负风压（吸力）；在侧墙面上受负风压；在屋面上，因屋面形状的不同，风压可表现为正风压或负风压。

《荷载规范》规定的房屋风荷载体型系数可按表 10-7 采用。

风荷载体形系数 μ_s **表 10-7**

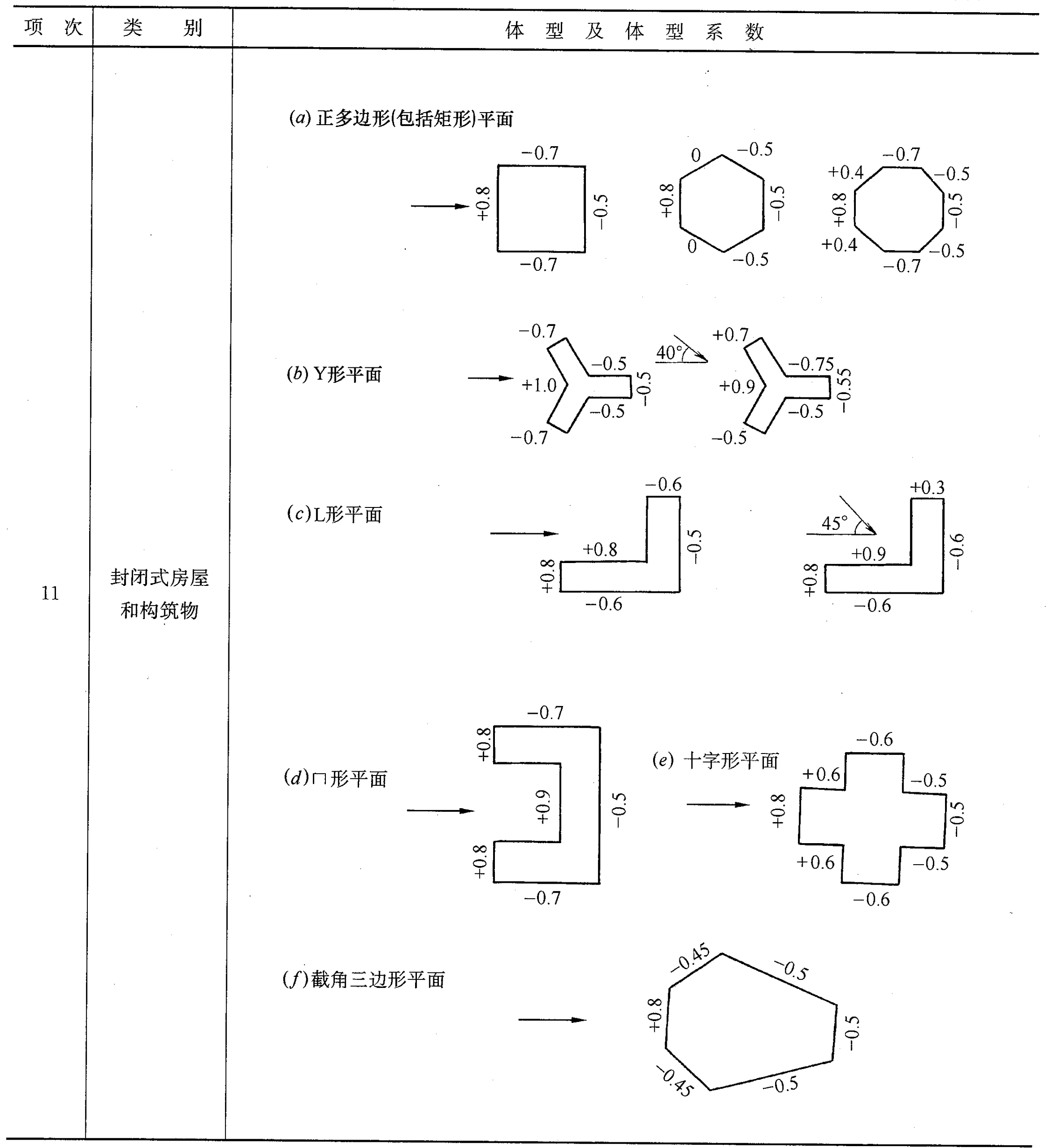


项次	类别	体型及体型系数
1	封闭式落地双坡屋面	α: 0°, 30°, ≥60° μ_s: 0, +0.2, +0.8 中间值按插入法计算
2	封闭式双坡屋面	α: ≤15°, 30°, ≥60° μ_s: −0.6, 0, +0.8 中间值按插入法计算
3	封闭式落地拱形屋面	f/l: 0.1, 0.2, 0.5 μ_s: +0.1, +0.2, +0.6 中间值按插入法计算
4	封闭式拱形屋面	f/l: 0.1, 0.2, 0.5 μ_s: −0.8, 0, +0.6 中间值按插入法计算

续表

项次	类别	体型及体型系数
5	封闭式单坡屋面	迎风坡面的 μ_s 按第 2 项采用
6	封闭式高低双坡屋面	迎风坡面的 μ_s 按第 2 项采用
7	封闭式带天窗双坡屋面	带天窗的拱形屋面可按本图采用
8	封闭式双跨双坡屋面	迎风坡面的 μ_s 按第 2 项采用
9	封闭式不等高不等跨的双跨双坡屋面	迎风坡面的 μ_s 按第 2 项采用
10	封闭式不等高不等跨的三跨双坡屋面	迎风坡面的 μ_s 按第 2 项采用 中跨上部迎风墙面的 μ_{s1} 按下式采用： $\mu_{s1}=0.6\ (1-2h_1/h)$ 但当 $h_1=h$ 时，取 $\mu_{s1}=-0.6$

续表

项次	类别	体型及体型系数
11	封闭式房屋和构筑物	

注：①表图中符号→表示风向；+表示压力；−表示吸力；
②表中的系数未考虑邻近建筑群体的影响。

表 10-7 中未列入的房屋类别，详见《荷载规范》。

4. 风振系数 β_z

《荷载规范》规定，对于高度大于 30m 且高宽比大于 1.5 的房屋和基本自振周期 T_1 大于 0.25s 的各种高耸结构以及大跨度屋盖结构，均应考虑风压脉动对结构发生顺风向风振的影响。风振计算应按随机振动理论进行，结构的自振周期应按结构动力学计算。

对于一般悬臂型结构，例如构架、塔架、烟囱等高耸结构，以及高度大于 30m，高宽比大于 1.5 且可忽略扭转影响的高层建筑，均可仅考虑第一振型的影响，结构的风荷载可

按式（10-2）通过风振系数来计算。风振系数值大于 1。其值与脉动增大系数、脉动影响系数、振型系数、风压高度变化系数有关。其值计算详见《荷载规范》的规定。

（六）常用材料和构件自重

常用材料和构件自重见表 10-8。

常用材料和构件自重表 **表 10-8**

项次	名　　称	自　重	备　　注
1	木材	4～9	随树种和含水率而不同
2	钢	78.5	
3	铝	27	
4	黏土	13.5～20	与含水率有关
5	花岗石、大理石	28	片石堆置
6	普通砖	19	机器制
7	缸砖	21～21.5	230mm×110mm×65mm（609 块/m^3）
8	灰砂砖	18	砂：白灰=92：8
9	焦渣砖	12～14	
10	焦渣空心砖	10	290mm×290mm×140mm（85 块/m^3）
11	陶粒空心砌块	6.0	390mm×290mm×190mm
12	混凝土空心小砌块	11.8	390mm×190mm×190mm
13	瓷面砖	17.8	150mm×150mm×8mm（5556 块/m^3）
14	石灰砂浆、混合砂浆	17	
15	水泥砂浆	20	
16	素混凝土	22～24	振捣或不振捣
17	焦渣混凝土	16～17	承重用
18	焦渣混凝土	10～14	填充用
19	泡沫混凝土	4～6	
20	水泥焦渣	14	
21	钢筋混凝土	24～25	
22	普通玻璃	25.6	
23	水	10	温度 4℃密度最大时
24	书籍	5	书架藏置
25	浆砌机砖	19	
26	双面抹灰板条隔墙	0.9	每面抹灰厚 16～24mm，龙骨在内
27	C形轻钢龙骨隔墙	0.27～0.54	与层数及有无保温层有关
28	贴瓷砖墙面	0.5	包括水泥浆打底，共厚 25mm
29	木屋架	$0.07+0.007l$	按屋面水平投影面积计算，跨度 l 以“m”计
30	钢屋架	$0.12+0.011l$	无天窗，包括支撑，按屋面水平投影面积计算，跨度 l 以“m”计

续表

项次	名称	自重	备注
31	钢框玻璃窗	0.4～0.45	
32	木门	0.1～0.2	
33	钢铁门	0.4～0.45	
34	黏土平瓦屋面	0.55	
35	石板瓦屋面	0.46～0.96	厚度 6.3～12.1mm
36	彩色钢板波形瓦	0.12～0.13	0.6mm 厚彩色钢板
37	玻璃屋顶	0.3	9.5mm 夹丝玻璃，框架自重在内
38	油毡防水层	0.25～0.4	与层数有关
39	V 形轻钢龙骨吊顶	0.12～0.25	
40	硬木地板	0.2	厚 25mm
41	缸砖地面	1.7～2.1	60mm 砂垫层，53mm 面层，平铺
42	彩色钢板岩棉夹心板	0.24	板厚 100mm，两层彩板，岩棉芯材
43	轻质 GRC 保温板	0.14	3000mm×600mm×60mm
44	玻璃幕墙	1.0～1.5	一般可按单位面积玻璃自重增大 20%～30%采用

注：1. 以上材料自重单位，自第 1～25 项为 kN/m^3，第 26～44 项为 kN/m^2；

2. 以上常用材料自重中，应熟记下列材料自重值：

钢筋混凝土　25kN/m^3；
钢　78.5kN/m^3；
砖砌体　18～20kN/m^3；
木材（由于树种和含水率不同差别较大，可以榆、松、水曲柳为例）7kN/m^3；
花岗石　28kN/m^3；
焦渣混凝土（承重用）　16～17kN/m^3；
焦渣混凝土（填充用）　10～14kN/m^3；
泡沫混凝土　4～6kN/m^3；
水泥焦渣　14kN/m^3；
铝　27kN/m^3。

第二节　建筑结构的设计方法

根据《结构可靠度标准》所确定的原则，应用我国现行规范进行结构设计时，采用的是以概率理论为基础的极限状态设计方法。

一、设计基准期、设计使用年限、安全等级

（一）设计基准期

设计基准期是为确定可变作用及与时间有关的材料性能等取值而选用的时间参数，它不等同于建筑结构的设计使用年限。《结构可靠度标准》所考虑的荷载统计参数，都是按设计基准期为 50 年确定的，如设计时需采用其他设计基准期，则必须另行确定在设计基准期内最大荷载的概率分布及相应的统计参数。

（二）设计使用年限

设计使用年限是在规定的时期内，结构或结构构件不需进行大修，即可按预期目的使用，完成预定的功能，即房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和维护下所应达到的使用年

限，如达不到这个年限则意味着在设计、施工、使用与维护的某一环节上出现了非正常情况。这里指的“正常维护”包括必要的检测、防护及维修。根据《结构可靠度标准》的规定，结构的设计使用年限应按表 10-9 采用，如建设单位提出更高要求，也可按建设单位的要求确定。

设计使用年限分类 **表 10-9**

类别	设计使用年限（年）	示　例	类别	设计使用年限（年）	示　例
1	5	临时性结构	3	50	普通房屋和构筑物
2	25	易于替换的结构构件	4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

（三）安全等级

根据结构破坏可能产生的后果（危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等）的严重性，《结构可靠度标准》将建筑物划分为三个安全等级，见表 10-10。建筑结构设计时，可根据要求采用不同的安全等级。

建筑结构的安全等级 **表 10-10**

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一　级	很严重	重要的房屋
二　级	严　重	一般的房屋
三　级	不严重	次要的房屋

大多数建筑物的安全等级均属二级，重要的建筑物提高一级，次要的建筑物降低一级。设计部门可根据工程实际情况和设计传统习惯选用。

同一建筑物内的各种结构构件宜与整个结构采用相同的安全等级，但允许对部分结构构件根据其重要程度和综合经济效果进行适当调整。如提高某一结构构件的安全等级所需额外费用很少，又能减轻整个结构的破坏，从而大大减少人员伤亡和财物损失，则可将该结构构件的安全等级比整个结构的安全等级提高一级；相反，如某一结构构件的破坏并不影响整个结构或其他结构构件，则可将其安全等级降低一级。

《荷载规范》在荷载效应组合中新增一项由永久荷载效应控制的组合，从而使承受恒载为主的结构构件的安全度有所提高，由于《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）（以下简称《混凝土规范》）取消了原规范弯曲抗压强度 f_{cm}，统一取用抗压强度 f_c，从而使以混凝土受压为主的结构构件的安全度有所提高，因而原规范中“对屋架、托架、承受恒载为主的轴心受压柱、小偏心受压柱安全等级应提高一级”的规定也予以取消。

同时，工程实践表明，由于混凝土结构在施工阶段容易发生质量问题，因此取消了原规范“对施工阶段预制构件安全等级可降低一级”的规定。

二、结构的功能要求及可靠度

（一）结构的功能要求

结构在规定的设计使用年限内应满足下列功能要求：

1. 安全性

在正常施工和正常使用时，能承受可能出现的各种作用。

在设计规定的偶然事件（如地震、爆炸）发生时及发生后，仍能保持必需的整体

稳定性。

所谓整体稳定性，系指在偶然事件发生时及发生后，建筑结构仅产生局部的损坏而不致发生连续倒塌。

2. 适用性

在正常使用时具有良好的工作性能。如不产生影响正常使用的过大的变形或振幅，不发生足以让使用者产生不安的过宽的裂缝。

3. 耐久性

在正常维护下具有足够的耐久性能。

所谓足够的耐久性能，系指结构在规定的工作环境中，在预定时期内，其材料性能的恶化不致导致结构出现不可接受的失效概率。从工程概念上讲，足够的耐久性能就是指在正常维护条件下结构能够正常使用到规定的设计使用年限。如钢筋不过度腐蚀、混凝土不发生过分的化学腐蚀或冻融破坏等。

（二）结构的可靠度

上述对结构安全性、适用性、耐久性的要求可概括为结构可靠性的要求。结构的可靠性指的是，结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的能力。结构可靠度是对结构可靠性的定量描述，即结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率。结构构件的可靠度宜采用可靠指标 [β] 来度量，[β] 见表 10-11。

结构构件承载能力极限状态可靠指标 [β]　　表 10-11

破坏类型	安全等级		
	一　级	二　级	三　级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

结构可靠度与结构的使用年限长短有关，《结构可靠度标准》所指的结构可靠度或结构失效概率，是对结构的设计使用年限而言的，也就是说，规定的时间指的是设计使用年限；而规定的条件则是指正常设计、正常施工、正常使用，不考虑人为过失的影响，人为过失应通过其他措施予以避免。

为了保证建筑结构具有规定的可靠度，除了应进行必要的设计计算外，还应对结构材料性能、施工质量、使用与维护进行相应的控制。对控制的具体要求，应符合有关勘察、设计、施工及维护等标准的专门规定。

三、结构的两类极限状态

结构的极限状态是指：当结构或构件超过某一临界状态时，就不能满足设计规定的某一功能要求，此临界状态称为该功能的极限状态。

结构的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。前者与结构的安全性相对应，后者与结构的适用性和耐久性相对应。

（一）承载能力极限状态

这种极限状态对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。当结构或结构构件出现下列状态之一时，即认为超过了承载能力极限状态：

1. 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡（如倾覆等）；

2. 结构构件或连接（即节点）因超过材料强度而破坏（包括疲劳破坏），或因变形过大而不适于继续承载；

3. 结构转变为机动体系；

4. 结构或结构构件丧失稳定（如压屈等）；

5. 地基丧失承载能力而破坏（如失稳等）。

由于一旦超过承载能力极限状态，结构可能会整体倒塌或严重破坏，以致造成人身伤亡或重大经济损失，因而，应该把超过承载能力极限状态的可能性控制到很小，也就是要对超过承载能力极限状态保持足够大的安全储备。

（二）正常使用极限状态

这种极限状态对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。当结构或结构构件出现下列状态之一时，即认为超过了正常使用极限状态：

1. 影响正常使用或外观的变形（如构件的挠度超过某个限值）；

2. 影响正常使用或耐久性能的局部损坏（如裂缝宽度超过某个限值）；

3. 影响正常使用的振动；

4. 影响正常使用的其他特定状态。

结构超过正常使用极限状态会影响它的使用性能或耐久性能，但不致造成人身伤亡和重大经济损失，因而可以把超过正常使用极限状态的可能性控制得稍宽些，也就是允许比超过承载能力极限状态有较小的安全储备。通常结构构件是按承载能力极限状态进行设计，再按正常使用极限状态进行验算。

四、结构极限状态的设计表达式

建筑结构应根据使用过程中在结构上可能出现的荷载，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载（效应）组合，并应取各自最不利的效应组合进行设计。

（一）承载能力极限状态设计表达式

根据《荷载规范》的要求，结构构件承载力设计应根据荷载效应的基本组合或偶然组合进行，其一般表达式为

$$\gamma_0 S_d \leqslant R_d \tag{10-4}$$

式中 γ_0——结构重要性系数，应按各有关建筑结构设计规范的规定采用；

S_d——结构组合的效应设计值；

R_d——结构构件抗力的设计值，应按各有关建筑结构设计规范的规定确定。

1. 结构构件重要性系数 γ_0

根据《结构可靠度标准》，在建筑结构设计时，根据破坏可能产生的后果（危及人的生命安全、造成经济损失、产生社会影响等）的严重性，采用不同的安全等级或设计使用年限按表 10-12 取值。

结构重要性系数 γ_0 **表 10-12**

安全等级	γ_0	设计使用年限
一　级	不应小于 1.1	100 年及以上
二　级	不应小于 1.0	50 年
三　级	不应小于 0.9	5 年

注：对设计使用年限为 25 年的结构构件，各类材料结构设计规范可根据各自情况确定结构重要性系数 γ_0 的取值。

在抗震设计中，不考虑结构构件的重要性系数。

同一建筑物中的各种构件的安全等级，宜与整个结构的安全等级相同。但应根据需要，对某些构件的安全等级可采取提高一级或降低一级。

2. 荷载效应组合设计值 S

(1) 荷载效应基本组合

1) 对于基本组合，荷载效应组合的设计值 S_d 应从下列组合值中取最不利值确定：

①由可变荷载效应控制的组合：

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} \gamma_{G_j} S_{G_j k} + \gamma_{Q_1} \gamma_{L_1} S_{Q_1 k} + \sum_{i=2}^{n} \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \psi_{c_i} S_{Q_i k} \tag{10-5}$$

式中：γ_{G_j}——第 j 个永久荷载的分项系数，应按《荷载规范》第 3.2.4 条采用；

γ_{Q_i}——第 i 个可变荷载的分项系数，其中 γ_{Q_1} 为主导可变荷载 Q_1 的分项系数，应按《荷载规范》第 3.2.4 条采用；

γ_{L_i}——第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数，其中 γ_{L_1} 为主导可变荷载 Q_1 考虑设计使用年限的调整系数；楼（屋）面活荷载考虑 设计使用年限的调整系数 γ_L 为 5 年 0.9、50 年 1.0、100 年 1.1；

$S_{G_j k}$——按第 j 个永久荷载标准值 G_{jk} 计算的荷载效应值；

$S_{Q_i k}$——按第 i 个可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值，其中 $S_{Q_1 k}$ 为诸可变荷载效应中起控制作用者；

ψ_{c_i}——第 i 个可变荷载 Q_i 的组合值系数；

m——参与组合的永久荷载数；

n——参与组合的可变荷载数。

②由永久荷载效应控制的组合：

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} \gamma_{G_j} S_{G_j k} + \sum_{i=1}^{n} \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \psi_{c_i} S_{Q_i k} \tag{10-6}$$

注：①基本组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

②当对 $S_{Q_1 k}$ 无法明显判断时，应轮次以各可变荷载效应作为 $S_{Q_1 k}$，并选取其中最不利的荷载组合的效应设计值。

2) 基本组合的荷载分项系数，应按下列规定采用：

①永久荷载的分项系数：

a. 当永久荷载效应对结构不利时

对由可变荷载效应控制的组合，应取 1.2；对由永久荷载效应控制的组合，应取 1.35。

b. 当永久荷载效应对结构有利时的组合，不应大于 1.0。

②可变荷载的分项系数：

一般情况下应取 1.4；对标准值大于 $4kN/m^2$ 的工业房屋楼面结构的活荷载取 1.3。

对结构的倾覆、滑移或漂浮验算，荷载分项系数应按有关的结构设计规范的规定采用。

(2) 荷载效应偶然组合

1) 用于承载能力极限状态计算的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} S_{G_j k} + S_{A_d} + \psi_{f_1} S_{Q_1 k} + \sum_{i=2}^{n} \psi_{q_i} S_{Q_i k} \tag{10-7}$$

式中：S_{A_d}——按偶然荷载标准值 A_d 计算的荷载效应值；

ψ_{f_1}——第 1 个可变荷载的频遇值系数；

ψ_{q_i}——第 i 个可变荷载的准永久值系数。

2）用于偶然事件发生后受损结构整体稳固性验算的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} S_{G_j k} + \psi_{f_1} S_{Q_1 k} + \sum_{i=2}^{n} \psi_{q_i} S_{Q_i k} \tag{10-8}$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

（二）正常使用极限状态表达式

对于正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，采用荷载的标准组合、频遇组合或准永久组合，并应按下列设计表达式进行设计：

$$S_d \leqslant C \tag{10-9}$$

式中　C——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值，例如变形、裂缝、振幅、加速度、应力等的限值，应按各有关建筑结构设计规范的规定采用。

对于标准组合，荷载效应组合的设计值 S_d 应按下式采用：

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} S_{G_j k} + S_{Q_1 k} + \sum_{i=2}^{n} \psi_{q_i} S_{Q_i k} \tag{10-10}$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

对于频遇组合，荷载效应组合的设计值 S_d 应按下式采用：

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} S_{G_j k} + \psi_{f_1} S_{Q_1 k} + \sum_{i=2}^{n} \psi_{q_i} S_{Q_i k} \tag{10-11}$$

式中　ψ_{f_1}——可变荷载 Q_1 的频遇值系数，应按《荷载规范》的规定采用；

ψ_{q_i}——可变荷载 Q_i 的准永久值系数，应按《荷载规范》的规定采用。

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

对于准永久组合，荷载效应组合的设计值 S_d 可按下式采用：

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} S_{G_j k} + \sum_{i=1}^{n} \psi_{q_i} S_{Q_i k} \tag{10-12}$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

习　题

10-1　普通钢筋混凝土的自重为(　　)。

A　20～21kN/m³　　B　22～23kN/m³

C　24～25kN/m³　　D　26～27kN/m³

10-2　普通钢筋混凝土与砖砌体自重之比为(　　)。

A　<1.15　　B　1.15～1.25

C　1.25～1.40　　D　>1.40

10-3　钢材和木材自重之比为(　　)。

A　4～6　　B　5～6

C　6～7　　D　>7

10-4　黏土砖尺寸为 240×115×53（mm），现共有砖 2.78t，问共计砖数多少块？(　　)

A 800　　　　B 900

C 1000　　　　D 1100

10-5 一般上人平屋面的均布荷载标准值为（　　）。

A $0.5kN/m^2$　　　　B $0.7kN/m^2$

C $2.0kN/m^2$　　　　D $2.5kN/m^2$

10-6 住宅建筑中，一般情况的阳台的活荷载取值比室内楼面的活荷载取值为（　　）。

A 大　　　　B 小

C 相同　　　　D 如阳台临街则大，否则相同

10-7 我国荷载规范规定的基本风压是以当地比较空旷平坦的地面上离地10m高统计所得的多少年一遇10min平均最大风速为标准确定的？（　　）

A 10年　　　　B 20年

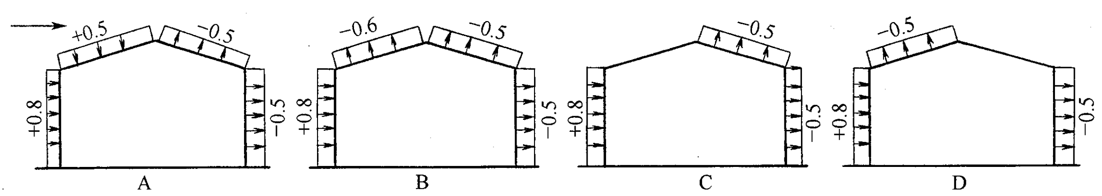
C 30年　　　　D 50年

10-8 我国荷载规范规定的基本雪压是以当地一般空旷平坦地面上统计所得多少年一遇的最大积雪自重确定的？（　　）

A 10年　　　　B 20年

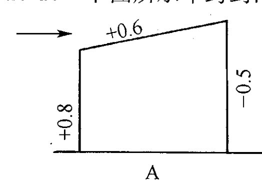
C 30年　　　　D 50年

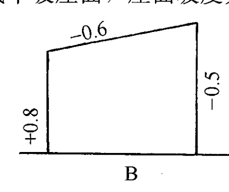
10-9 下图所示单跨封闭式双坡屋面，屋面坡度为1：5，哪一个风荷载体型系数是正确的？（　　）

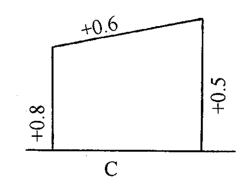


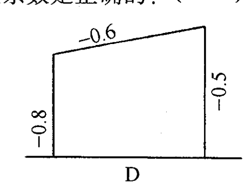
题10-9图

10-10 下图所示单跨封闭式单坡屋面，屋面坡度为1：5，哪一个风荷载体型系数是正确的？（　　）









题10-10图

10-11 下列有关荷载标准值、设计值、准永久值、荷载效应组合的叙述中，哪一种是错误的？（　　）

A 荷载设计值大于荷载标准值

B 荷载准永久值小于荷载标准值（高炉邻近建筑的屋面积灰荷载除外）

C 对于承载能力极限状态，应采用荷载效应的基本组合进行设计；对于正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，采用荷载的频遇组合或准永久组合进行设计

D 短期效应组合和长期效应组合的荷载设计值应考虑荷载分项系数

10-12 承重结构设计中，下列哪几项属于承载能力极限状态设计的内容？（　　）

Ⅰ. 构件和连接的强度破坏；Ⅱ. 疲劳破坏；Ⅲ. 影响结构耐久性能的局部损坏；Ⅳ. 结构和构件丧失稳定，结构转变为机动体系和结构倾覆

A Ⅰ、Ⅱ　　　　B Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

C Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ　　　　D Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

10-13 高层建筑中，当外墙采用玻璃幕墙时，幕墙及其与主体结构的连接件设计中，下列哪几项对风荷

载的考虑符合规范要求？（　　）

Ⅰ.要考虑对幕墙的风压力；Ⅱ.要考虑对幕墙的风吸力；Ⅲ.设计幕墙时，应计算幕墙的阵风系数；Ⅳ.一般情况下，不考虑幕墙的风吸力

A　Ⅰ、Ⅱ　　　　B　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

C　Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ　　　　D　Ⅱ、Ⅲ

10-14　下列情况对结构构件产生内力，试问何项为直接荷载作用？（　　）

A　温度变化　　　　B　地基沉降

C　屋面积雪　　　　D　结构构件收缩

10-15　对于人流可能密集的阳台，其楼面均布活荷载标准值取值为（　　）。

A　$2.0kN/m^2$　　　　B　$2.5kN/m^2$

C　$3.0kN/m^2$　　　　D　$3.5kN/m^2$

参考答案

10-1　C　　10-2　C　　10-3　D　　10-4　C　　10-5　C　　10-6　A

10-7　D　　10-8　D　　10-9　B　　10-10　B　　10-11　D　　10-12　C

10-13　B　　10-14　C　　10-15　D

第十一章　钢筋混凝土结构设计

第一节　概　　述

一、钢筋混凝土的基本概念

混凝土的抗压强度很高，但抗拉强度很低，在拉应力处于很小的状态时即出现裂缝，影响了构件的使用，为了提高构件的承载能力，在构件中配置一定数量的钢筋，用钢筋承担拉力而让混凝土承担压力，发挥各自材料的特性，从而可以使构件的承载能力得到很大的提高。这种由混凝土和钢筋两种材料组成的构件，就成为钢筋混凝土结构。

钢筋和混凝土这两种材料能有效地结合在一起共同工作，主要原因可归纳为三点：①由于混凝土硬结后，钢筋与混凝土之间产生了良好的黏结力，使两者可靠地结合在一起，从而保证了在荷载作用下构件中的钢筋与混凝土协调变形、共同受力。②钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数很接近（混凝土：1.0×10^{-5}/℃；钢：1.2×10^{-5}/℃），1×10^{-5}/℃，即温度每升高1℃，每1m伸长0.01mm。因此，当温度变化时，不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的黏结。③在钢筋混凝土结构中，钢筋受混凝土的包裹，使其不致很快锈蚀，从而提高了结构的耐久性。

钢筋混凝土具有以下特点：

1. 节约钢材，降低造价。由于合理地利用了两种材料的特性，使构件强度较高，刚度较大，比起钢结构来可节约钢材；

2. 耐久性和耐火性较好。由于混凝土对钢筋起到保护作用，使构件的耐久性和耐火性明显优于钢结构；

3. 可塑性好。钢筋混凝土可根据需要浇筑成各种形状；

4. 现浇钢筋混凝土结构整体性好、刚度大，又具有一定的延性，适用于抗震结构；

5. 可以就地取材。钢筋混凝土中的砂、石一般可以就地取材，降低造价。

由于钢筋混凝土具有以上优点，因此，在建筑结构中得到了广泛的应用。但是，钢筋混凝土也存在着自重大、抗裂性差、隔热隔声性能较差、施工现场作业劳动量大等缺点。这些缺点，随着技术的进步将会逐步得到克服和改善。

二、混凝土材料的力学性能

（一）混凝土强度标准值

1. 立方体抗压强度 $f_{cu,k}$

混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定，立方体抗压强度标准值是混凝土各种力学指标的基本代表值。

混凝土的立方体抗压强度是根据边长为150mm的立方体试件，用标准方法制作和养护（即温度为20℃±3℃、相对湿度≥90%以上），经28d养护（或设计规定的龄期），用

标准试验方法（加载速度为每秒 0.3～0.8N/mm²，试件两端与试验机接触面不涂润滑剂）进行抗压试验，测得的具有 95%保证率的抗压强度极限值。

我国《混凝土规范》规定，将混凝土的强度等级分为 14 级：C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。符号中 C 表示混凝土，C 后面的数字表示立方体抗压强度标准值，单位为 N/mm²。

立方体抗压强度无设计值。

混凝土的立方体抗压强度与下列因素有关：

（1）试件表面不涂油的强度大于涂油的强度；

（2）加荷时试件的龄期越早，强度越低；

（3）试件的尺寸越小，强度越高，这种现象称为尺寸效应。

2. 轴心抗压强度标准值 f_{ck}

轴心抗压强度亦称为棱柱体抗压强度。设计中通常采用的构件并不是立方体构件，而是长度往往大于边长。根据实验结果，随着长度的增加，抗压强度亦随之降低，但当长宽比大于一定数值后，抗压强度值即趋于定值。试验中取长宽比大于 3～4 的正方形棱柱体作为试块。

轴心抗压强度小于立方体抗压强度，$f_{ck}=0.67f_{cu,k}$。

3. 轴心抗拉强度标准值 f_{tk}

混凝土抗拉强度取棱柱体 100mm×100mm×500mm 的试件，沿试块轴线两端预埋钢筋（其直径应保证试件受拉破坏时钢筋不被拉断，锚固长度应保证破坏时钢筋不被拔出），通过对钢筋施加拉力使试件受拉，试件破坏时的平均拉应力即为轴心抗拉强度。

混凝土的抗拉强度取决于水泥石（在凝结硬化过程中，水泥和水形成水泥石）的强度和水泥石与骨料间的黏结强度。采用增加水泥用量，减少水灰比，以及采用表面粗糙的骨料，可提高混凝土的抗拉强度。

混凝土的抗拉强度很低，大约只相当于立方体抗压强度的 1/16～1/8 倍。

混凝土轴心抗压强度标准值及抗拉强度标准值均可通过立方体抗压强度求得。

以上三种强度大小排序为：$f_{tk}<f_{ck}<f_{cu,k}$。

4. 复合应力下的混凝土强度

（1）三向受压。如图 11-1 所示，在轴向压力 $\sigma_1 A$ 作用下，轴向压缩，侧向膨胀。在 σ_2（压力）作用下，约束侧向膨胀，减小了压缩变形。因而提高了混凝土轴心抗压强度，减小了轴心受压变形。在 σ_2（拉力）作用下，增加了其侧向膨胀，因而降低了混凝土轴心抗压强度，增大了轴心受压变形。

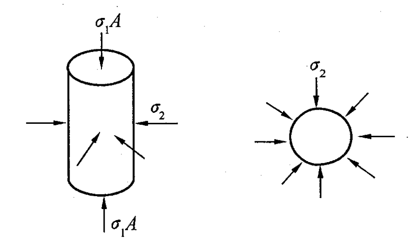


图 11-1　混凝土三向受压

（2）双向受力。混凝土双向受力的分析过程如图 11-2 所示。

（二）混凝土强度的设计值

将强度标准值除以材料分项系数即为强度设计值，即 $f_c=f_{ck}/\gamma_c=f_{ck}/1.4$，$f_t=f_{tk}/\gamma_c=f_{tk}/1.4$。混凝土的材料分项系数 γ_c 的取值是根据可靠度分析和工程经验校准法确定的。《混凝土规范》规定，混凝土的材料分项系数 $\gamma_c=1.4$。《混凝土规范》表 4.1.3-1 和表 4.1.3-2 分别列出了混凝土各种不同强度等级的抗压和抗拉强度标准值，表 4.1.4-1 和表

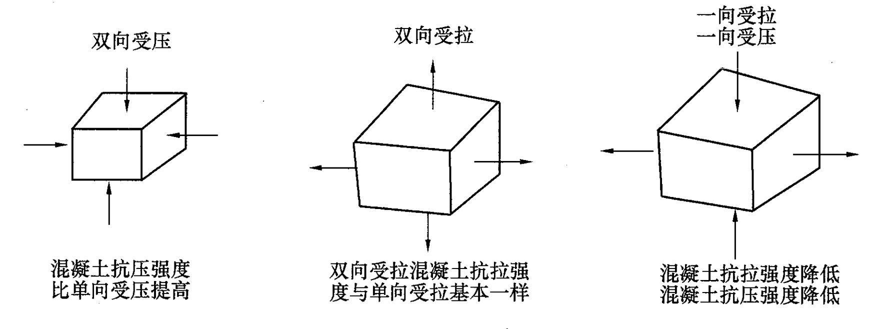


图 11-2　混凝土双向受力

4.1.4-2 分别列出了各种不同强度等级的抗压和抗拉强度设计值。

（三）混凝土的变形

混凝土的变形分为两类。一类是在荷载作用下的受力变形，如单调短期加荷、多次重复加荷以及荷载在长期作用下的变形。另一类与受力无关，称为体积变形，如混凝土的收缩、膨胀以及由于温度变化所产生的变形。

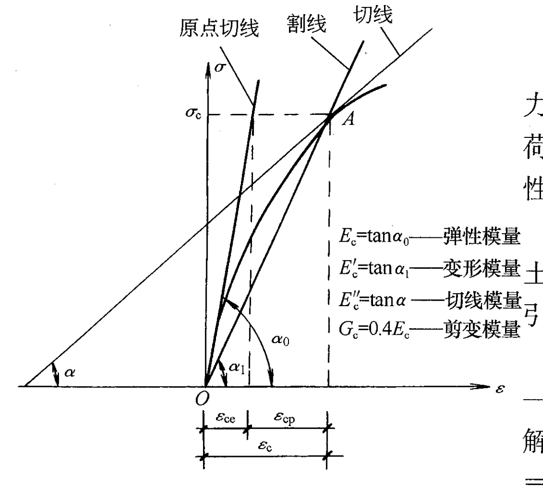


图 11-3　混凝土应力-应变曲线与各种切线图

1. 混凝土的变形模量

图 11-3 表示混凝土棱柱体受压试验的应力-应变曲线。从图中可见，混凝土棱柱体受荷后，应力 σ_c 和应变 ε_c 之间不存在完全的线性关系，因此胡克定律不适用。

在计算钢筋混凝土构件变形、预应力混凝土截面预压应力以及超静定结构内力时，都须引入混凝土的弹性模量。

从图 11-3 中，混凝土应力-应变曲线上任一点 A 处应力和应变分别为 σ_c 和 ε_c，ε_c 可分解为弹性应变 ε_{ce} 和塑性应变 ε_{cp} 两部分，即 $\varepsilon_c=\varepsilon_{ce}+\varepsilon_{cp}$。从应力-应变曲线的原点 O 作曲线的切线，该切线的正切称为混凝土的原点弹性模量，也称为混凝土的弹性模量，用 E_c 表示，它反映了混凝土的应力与其弹性应变的关系，即：

$$E_c=\tan\alpha_0 \tag{11-1}$$

$$E_c=\frac{\sigma_c}{\varepsilon_{ce}} \tag{11-2}$$

对于一定强度等级的混凝土，弹性模量 E_c 是一定值。

连接原点和曲线上任一点 A 的割线的正切称为混凝土的变形模量，以 E'_c 表示，它也称为割线模量，即：

$$E'_c=\tan\alpha_1 \tag{11-3}$$

或

$$E'_c=\frac{\sigma_c}{\varepsilon_c}=\frac{\sigma_c}{\varepsilon_{ce}+\varepsilon_{cp}} \tag{11-4}$$

在应力-应变曲线上任一点 A 处作切线，该切线与横坐标轴的夹角的正切（或其应力增量与应变增量的比值）称为相应于该点应力的切线模量 E''_c：

$$E''_c = \tan\alpha \tag{11-5}$$

或

$$E''_c = \frac{d\sigma_c}{d\varepsilon_c} \tag{11-6}$$

从图 11-3 中可看出，随着混凝土应力的增加，混凝土塑性变形发展，故混凝土的割线模量和切线模量均为变值。

根据试验结果分析，混凝土的弹性模量 E_c 与立方体抗压强度 f_{cu} 之间的关系为：

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu,k}}} \quad (N/mm^2) \tag{11-7}$$

式中 $f_{cu,k}$ 以混凝土强度等级值（N/mm^2）代入，可求得与立方体抗压强度标准值相对应的弹性模量。

混凝土的剪变模量 G_c 为

$$G_c = 0.4E_c \tag{11-8}$$

2. 混凝土在长期荷载作用下的变形——徐变

在荷载的长期作用下，即使荷载维持不变，混凝土的变形仍会随时间而增长，这种现象称为徐变。

影响徐变的因素有以下几方面：

（1）水胶比大，徐变大；水泥用量越多，徐变越大；

（2）养护条件好，混凝土工作环境湿度越大，徐变越小；

（3）水泥和骨料的质量好、级配越好，徐变越小；

（4）加荷时混凝土的龄期越早，徐变越大；

（5）加荷前混凝土的强度越高，徐变越小；

（6）构件的尺寸越大，体表比（即构件的体积与表面积之比）越大，徐变越小。

徐变在开始发展很快，以后逐渐减慢，最后趋于稳定。通常在前 6 个月可完成最终徐变量的 70%～80%，在第一年内可完成 90%左右，其余部分在后续几年中完成。

3. 混凝土的收缩与膨胀

混凝土在空气中结硬体积会收缩，在水中结硬体积要膨胀。但是，膨胀值要比收缩值小得多，由于膨胀对结构往往是有利的，所以一般不需考虑。

影响收缩的因素有以下几方面：

（1）水泥强度等级越高、用量越多、水灰比越大，收缩越大；

（2）骨料的弹性模量大，收缩越小；

（3）养护条件好，在硬结过程中和使用过程中周围环境湿度大，收缩越小；

（4）混凝土振捣密实，收缩越小；

（5）构件的体表比越大，收缩越小。

收缩变形在开始阶段发展较快，2 周可完成全部收缩量的 25%，1 个月约完成 50%，3 个月后增长缓慢。

例 11-1 （2008） 下列关于混凝土收缩的叙述，哪一项是正确的？

A 水泥强度等级越高，收缩越小　　B 水泥用量越多，收缩越小

C 水灰比越大，收缩越大　　D 环境温度越低，收缩越大

答案： C

（四）混凝土材料的选用

钢筋混凝土结构不宜采用强度过低的混凝土，因为当混凝土强度过低时，钢筋与混凝土之间的黏结强度太低，将影响钢筋强度的充分利用。规范规定：

1. 素混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C15；钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C20；采用强度等级 400MPa 及以上的钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C25。

2. 预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30。

3. 承受重复荷载的钢筋混凝土构件，混凝土强度等级不应低于 C30。

三、钢筋的种类及其力学性能

（一）钢筋的品种和级别

在钢筋混凝土中，采用的钢材形式有两大类：一类是劲性钢筋，由型钢（如角钢、槽钢、工字钢等）组成。在钢筋混凝土构件中置入型钢的称为劲性钢筋混凝土，通常在荷重大的构件中才采用。另一类是柔性钢筋，即通常所指的钢筋。柔性钢筋又包括钢筋和钢丝两类。钢筋按外形分为光圆钢筋和变形钢筋两种。钢筋的品种很多，可分为碳素钢和普通低合金钢。碳素钢按其含碳量的多少，分为低碳钢（含碳＜0.25%）、中碳钢（含碳0.25%～0.6%）和高碳钢（含碳 0.6%～1.4%）。低碳钢强度低但塑性好，称为软钢，高碳钢强度高但塑性、可焊性差，称为硬钢。普通低合金钢，除了含有碳素钢的元素外，又加入了少量的合金元素，如锰、硅、矾、钛等，大部分低合金钢属于软钢。

2010 年版《混凝土规范》对钢筋的牌号、强度级别和应用作了较大的补充和修改（详见第 4.2.2、4.2.3 条），新规范提倡应用高强度、高性能钢筋。

对热轧带肋钢筋，增加了强度为 500MPa 级的热轧钢筋；推广 400MPa、500MPa 级高强度热轧带肋钢筋作为纵向受力的主导钢筋；限制并逐步淘汰 335MPa 级热轧带肋钢筋的应用；用 300MPa 级光圆钢筋取代 235MPa 级光圆钢筋；推广具有较好的延性、可焊性、机械连接性能及施工适应性的 HRB 系列普通热轧带肋钢筋；列入采用控温轧制工艺生产的 HRBF 系列细晶粒带肋钢筋。

对预应力钢筋，增补高强度、大直径的钢绞线；列入大直径预应力螺纹钢筋（精制螺纹钢筋）；列入中强度预应力钢丝以补充中等强度预应力筋的空缺，用于中、小跨度的预应力构件；淘汰锚固性能很差的刻痕钢丝；冷加工钢筋不再列入规范。

在设计中应用新规范时，要照顾到新老规范过渡期的特点以及钢材产品市场的供需情况；同时，要注意满足最小配筋率及抗震等要求。

为了解决钢筋密集施工不便的问题，可采用加大钢筋直径或并筋方案。并筋可采用二并筋或三并筋方案：二并筋∞，钢筋面积取 1.41 倍单根钢筋直径面积；三并筋&，钢筋面积取 1.73 倍单根钢筋直径面积。

（二）钢筋的应力-应变曲线和力学性能指标

钢筋混凝土及预应力混凝土结构中所用的钢筋可分为两类：有明显屈服点的钢筋（一

般称为软钢）和无明显屈服点的钢筋（一般称为硬钢）。

有明显屈服点的钢筋的应力-应变曲线如图 11-4 所示。图中，a 点以前应力与应变按比例增加，其关系符合胡克定律，这时如卸去荷载，应变将恢复到 0，即无残余变形，a 点对应的应力称为比例极限；过 a 点后，应变较应力增长为快；到达 b 点后，应变急剧增加，而应力基本上不变，应力-应变曲线呈现水平段 cd，钢筋产生相当大的塑性变形，此阶段称为屈服阶段。b、c 两点分别称为上屈服点和下屈服点。由于上屈服点 b 为开始进入屈服阶段的应力，呈不稳定状态，而下屈服点 c 比较稳定，因此，将下屈服点 c 的应力称为“屈服强度”。当钢筋屈服塑流到一定程度，即到达图中的 d 点，cd 段称为屈服台阶，过 d 点后，应力应变关系又形成上升曲线，但曲线趋平，其最高点为 e，de 段称为钢筋的“强化阶段”，相应于 e 点的应力称为钢筋的极限强度，过 e 点后，钢筋薄弱断面显著缩小，产生“颈缩”现象（图11-5），此时变形迅速增加，应力随之下降，直至到达 f 点时，钢筋被拉断。

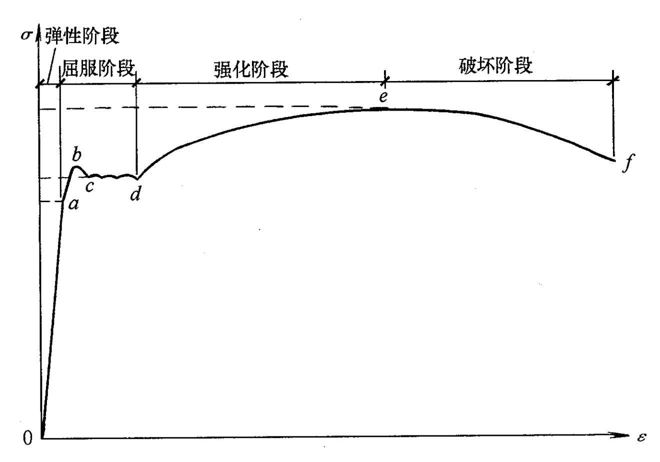


图 11-4　有明显屈服点的钢筋的应力-应变曲线
（HPB300，HRB335、HRBF335，HRB400、HRBF400、RRB400，HRB500、HRBF500）

无明显屈服点的钢筋的应力-应变曲线如图 11-6 所示。这类钢筋的极限强度一般很高，但变形很小。由于没有明显的屈服点和屈服台阶，因此通常取相应于残余应变 $\varepsilon=0.2\%$时的应力 $\sigma_{0.2}$作为名义屈服点（或称假想屈服点），而将其强度称为条件屈服强度。无明显屈服点的钢筋在很小的应变状态时即被拉断。

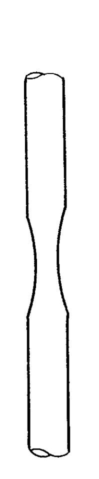


图 11-5　钢筋受拉时的“颈缩”现象

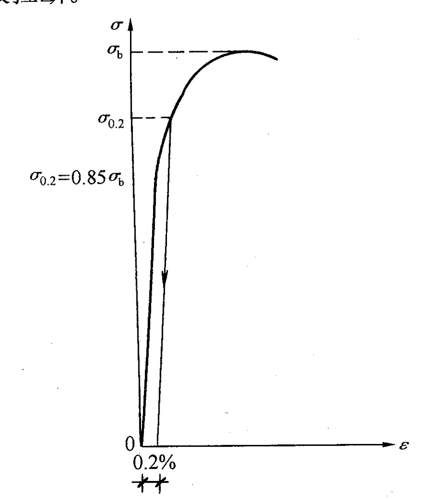


图 11-6　无明显屈服点的钢筋的应力-应变曲线
（如消除应力钢丝、钢绞线）

钢筋的力学性能指标有 4 个，即屈服强度、极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能。

1. 屈服强度

如上所述，对于软钢，取下屈服点 c 的应力作为屈服强度。对无明显屈服点的硬钢，设计上通常取残余应变为 0.2%时所对应的应力作为假想的屈服点，称为条件屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$来表示。对钢丝和热处理钢筋的 $\sigma_{0.2}$，规范统一取 0.85 倍极限抗拉强度。

2. 极限抗拉强度

对于软钢，取应力-应变曲线中的最高点 e 为极限抗拉强度；对于硬钢，规范规定，将应力-应变曲线的最高点作为强度标准值的依据。

3. 伸长率

伸长率是衡量钢筋塑性性能的一个指称，用 δ 表示。δ 为钢筋试件拉断后的残余应变，其值为：

$$\delta = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100\% \tag{11-9}$$

式中 l_1——钢筋试件受力前的量测标距长度；

l_2——试件经拉断并重新拼合后的量测得到的标距长度。

应变量测标距按规定有 $l_1=5d$（d 为试件直径）、$10d$ 和按固定长度 100mm 三种，相应的伸长率分别为 δ_5、δ_{10}、δ_{100}，标距越短，平均残余应变越大，因此，一般 $\delta_5>\delta_{10}>\delta_{100}$。

伸长率大的钢筋塑性性能好，拉断前有明显的预兆；伸长率小的钢筋塑性性能差，其破坏会突然发生，呈脆性特征，具有明显屈服点的钢筋有较大的伸长率，而无明显屈服点的钢筋伸长率很小。

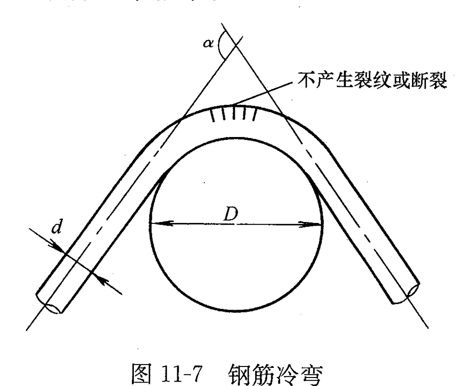


图 11-7 钢筋冷弯

4. 冷弯试验

冷弯试验是检验钢筋塑性的另一种方法。伸长率一般不能反映钢筋的脆化倾向，而冷弯性能可间接地反映钢筋的塑性性能和内在质量。冷弯试验的两个主要参数是弯心直径 D 和冷弯角度 α。将要试验的钢筋（直径为 d）绕某一规定直径的钢辊轴（直径为 D）进行弯曲（图11-7)。冷弯试验合格的标准为在规定的 D 和 α 下冷弯后的钢筋无裂纹、鳞落或断裂现象。

上述钢筋的 4 项指标中，对有明显屈服点的钢筋均须进行测定，对无明显屈服点的钢筋则只测定后 3 项。

（三）钢筋强度的标准值和设计值

1. 钢筋强度的标准值

规范规定，钢筋强度标准值应具有不小于 95%的保证率。

普通钢筋采用屈服强度作为标志。预应力钢筋无明显的屈服点，一般采用极限强度作为标志。在钢筋标准中，一般取 0.002 残余应变所对应的应力作为其条件屈服强度标准值。对传统的预应力钢丝、钢绞线取 $0.85\sigma_b$ 作为条件屈服强度（σ_b——极限抗拉强度）。

2. 钢筋强度的设计值

将受拉钢筋的强度标准值除以钢材的材料分项系数 γ_s 后即得受拉钢筋的强度设计值。

普通钢筋的屈服强度标准值 f_{yk}、极限强度标准值 f_{stk}应按表 11-1 采用；预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋的屈服强度标准值 f_{pyk}、极限强度标准值 f_{ptk}应按表 11-2 采用。

普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y、抗压强度设计值 f'_y 应按表 11-3 采用；预应力筋的抗拉强度设计值 f_{py}、抗压强度设计值 f'_{py}应按表 11-4 采用。

当构件中配有不同种类的钢筋时，多种钢筋应采用各自的强度设计值。对轴心受压构件，当采用 HRB500、HRBF500 钢筋时，钢筋的抗压强度设计值应取 400N/mm^2。横向钢筋的抗拉强度设计值 f_{yv}应按表中 f_y 的数值采用。当用作受剪、受扭、受冲切承载力计算时，其数值大于 360N/mm^2 时，应取 360N/mm^2。

普通钢筋强度标准值（N/mm^2）　　表 11-1

牌　号	符号	公称直径 d（mm）	屈服强度标准值 f_{yk}	极限强度标准值 f_{stk}
HPB300	Φ	6～14	300	420
HRB335	Φ	6～14	335	455
HRB400 HRBF400 RRB400	Φ Φ^F Φ^R	6～50	400	540
HRB500 HRBF500	Φ Φ^F	6～50	500	630

预应力筋强度标准值（N/mm^2）　　表 11-2

种　类		符号	公称直径 d（mm）	屈服强度标准值 f_{pyk}	极限强度标准值 f_{ptk}
中强度预应力钢丝	光面 螺旋肋	Φ^{PM} Φ^{HM}	5、7、9	620	800
				780	970
				980	1270
预应力螺纹钢筋	螺纹	Φ^T	18、25、32、40、50	785	980
				930	1080
				1080	1230
消除应力钢丝	光面 螺旋肋	Φ^P Φ^H	5	—	1570
				—	1860
			7	—	1570
			9	—	1470
				—	1570
钢绞线	1×3（三股）	Φ^S	8.0、10.8、12.9	—	1570
				—	1860
				—	1960
	1×7（七股）		9.5、12.7、15.2、17.8	—	1720
				—	1860
				—	1960
			21.6	—	1860

注：极限强度标准值为 1960N/mm^2 的钢绞线作后张预应力配筋时，应有可靠的工程经验。

普通钢筋强度设计值（N/mm^2） **表 11-3**

牌　　号	抗拉强度设计值 f_y	抗压强度设计值 f'_y
HPB300	270	270
HRB335	300	300
HRB400、HRBF400、RRB400	360	360
HRB500、HRBF500	435	435

预应力筋强度设计值（N/mm^2） **表 11-4**

种　类	极限强度标准值 f_{ptk}	抗拉强度设计值 f_{py}	抗压强度设计值 f'_{py}
中强度预应力钢丝	800	510	410
	970	650	
	1270	810	
消除应力钢丝	1470	1040	410
	1570	1110	
	1860	1320	
钢绞线	1570	1110	390
	1720	1220	
	1860	1320	
	1960	1390	
预应力螺纹钢筋	980	650	400
	1080	770	
	1230	900	

注：当预应力筋的强度标准值不符合表 11-4 的规定时，其强度设计值应进行相应的比例换算。

3. 钢筋总伸长率

普通钢筋及预应力钢筋在最大力下总伸长率 δ_{gt} 作为控制钢筋延性的指标，其限值见表 11-5。

普通钢筋及预应力钢筋在最大力下的总伸长率限值 **表 11-5**

钢筋品种	普　通　钢　筋			预应力筋
	HPB300	HRB335、HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500	RRB400	
δ_{gt}（%）	10.0	7.5	5.0	3.5

4. 钢筋代换

进行钢筋代换时，应符合承载力、总伸长率、裂缝宽度和抗震规定。除此之外，尚应满足最小配筋率、钢筋间距、保护层厚度、钢筋锚固长度、接头面积百分率及搭接长度等构造要求。

5. 混凝土结构对钢筋的要求

在混凝土结构构件中，钢筋应具有：

（1）较高的屈服强度和极限强度；

（2）良好的塑性和韧性；

（3）良好的工艺加工性能；

（4）良好的抗锈蚀能力；

（5）与混凝土良好的黏结力。

（四）钢筋材料的选用

1. 纵向受力普通钢筋可采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500、HRB335、RRB400、HPB300 钢筋；梁、柱和斜撑构件的纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、

HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋；

2. 箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HRB335、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋；

3. 预应力筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

四、钢筋与混凝土之间的粘结力

钢筋混凝土构件在外力作用下，在钢筋与混凝土接触面上将产生剪应力，这种剪应力称为粘结力。

钢筋与混凝土之间的粘结力由以下三部分组成：

1. 由于混凝土收缩将钢筋握裹挤压而产生的摩擦力；

2. 由于混凝土颗粒的化学作用产生的混凝土与钢筋之间的胶结力；

3. 由于钢筋表面凹凸不平与混凝土之间产生的机械咬合力。

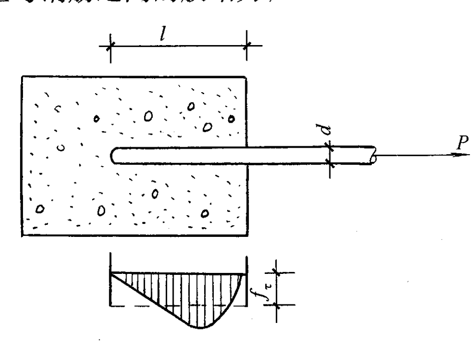


图 11-8　钢筋拔出试验中粘结应力分布图

上述三部分中，以机械咬合力作用最大，约占总黏结力的一半以上。变形钢筋比光圆钢筋的机械咬合力作用大。此外，钢筋表面的轻微锈蚀也可增加它与混凝土的粘结力。

粘结力的测定通常采用拔出试验方法（图 11-8）。将钢筋的一端埋入混凝土内，在另一端施加拉力将钢筋拔出，则粘结强度为：

$$f_{\tau}=\frac{P}{\pi dl} \tag{11-10}$$

式中　P——拔出力；

d——钢筋直径；

l——钢筋埋入长度。

根据拔出试验可知：

1. 粘结应力按曲线分布，最大黏结应力在离试件端头某一距离处，且随拔出力的大小而变化；

2. 钢筋锚入长度越长，拔出力越大，但埋入过长时则尾部的粘结应力很小，甚至为零；

3. 粘结强度随混凝土强度等级的提高而增大；

4. 带肋钢筋的粘结强度比光圆钢筋的大；根据试验资料，光圆钢筋的粘结强度为 1.5～3.5N/mm^2，螺纹钢筋的粘结强度为 2.5～6.0N/mm^2，其中较大的值系由较高的混凝土强度等级所得；

5. 在光圆钢筋末端做弯钩可以大大提高拔出力。

第二节　承载能力极限状态计算

一、正截面承载力计算

（一）一般规定

1. 正截面承载力计算的基本假定

(1) 截面应变保持平面；

(2) 不考虑混凝土的抗拉强度；

(3) 混凝土受压时的应力与应变关系按两种情况考虑：对混凝土轴心受压构件（均匀受压），应力与应变关系曲线为抛物线，其极限压应变取 0.002，相应的最大压应力取混凝土轴心抗压强度设计值 f_c（图 11-9）；对非均匀受压构件，当压应变 $\varepsilon_c \leqslant 0.002$ 时，应力与应变关系曲线为抛物线，当压应变 $\varepsilon_c > 0.002$ 时，应力与应变关系呈水平线，其极限压应变 ε_{cu} 取 0.0033，相应的最大压应力取 $\alpha_1 f_c$（图 11-10）；

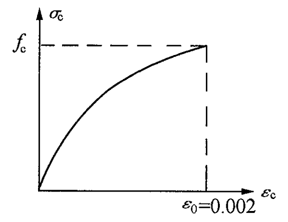


图 11-9 轴心受压的 σ_c-ε_c 关系

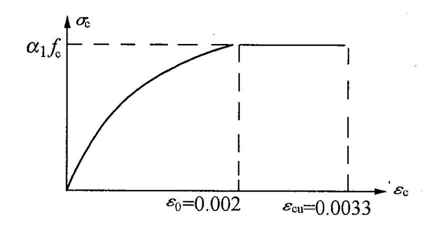


图 11-10 不均匀受压的 σ_c-ε_c 关系

(4) 纵向钢筋应力取等于钢筋应变与其弹性模量的乘积，但其绝对值不应大于其相应的强度设计值。即

$$-f'_y = \sigma_{si} \leqslant f_y \tag{11-11}$$

式中 σ_{si}——第 i 层纵向普通钢筋的应力，正值代表拉应力，负值代表压应力。

受拉钢筋的极限拉应变取 0.01。

2. 受压区混凝土的等效矩形应力图形

在实际工程设计中，为了简化计算，一般采用等效矩形应力分布图形来代替曲线的应力分布图形。但要满足以下两个条件：

(1) 曲线应力分布图形和等效矩形应力分布图形的面积要相等，即合力大小要相等；

(2) 两个图形合力作用点的位置相同。

3. 相对界限受压区高度 ξ_b

当纵向受拉钢筋屈服与受压区混凝土破坏同时发生时，即达到所谓“界限破坏”。

界限受压区高度 x_b 与截面有效高度 h_0 的比值即为相对界限受压区高度 ξ_b，即 $\xi_b = x_b/h_0$。经推导，ξ_b 与钢筋抗拉强度设计值 f_y 和钢筋的弹性模量 E_s 有关。

对有屈服点的普通钢筋
$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1+\dfrac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}}$$

对无屈服点的普通钢筋
$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1+\dfrac{0.002}{\varepsilon_{cu}}+\dfrac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}} \tag{11-12}$$

式中 β_1——系数，按《混凝土规范》第 6.2.6 条规定：当混凝土强度等级不超过 C50 时，β_1 取为 0.80；当混凝土强度等级为 C80 时，β_1 取为 0.74；其间按线性内插法确定。

f_y——普通钢筋抗拉强度设计值。

E_s——钢筋弹性模量。

ε_{cu}——非均匀受压时的混凝土极限压应变。

4. 钢筋应力 σ_s

为了简化计算，可以近似地用线性公式来表示钢筋应力 σ_s 和 ξ 的关系，经过分析，可得到：

$$\sigma_s = f_y \frac{\xi - 0.8}{\xi_b - 0.8} \tag{11-13}$$

将 $\xi = \frac{x}{h_{0i}}$ 代入上式，可得

$$\sigma_{si} = \frac{f_y}{\xi_b - \beta_1}\left(\frac{x}{h_{0i}} - \beta_1\right) \tag{11-14}$$

此时，钢筋应力应符合下式

$$-f_y' \leqslant \sigma_{si} \leqslant f_y \tag{11-15}$$

式中　x——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度；

h_{0i}——第 i 层纵向钢筋截面重心至截面受压边缘的距离；

σ_{si}——第 i 层纵向普通钢筋的应力，正值代表拉应力，负值代表压应力。

（二）受弯构件正截面承载力计算

1. 受弯构件破坏的基本特征

根据梁内配筋的多少，钢筋混凝土梁分为适筋梁、超筋梁和少筋梁，它们的破坏形式很不相同。

（1）适筋梁的破坏（拉压破坏）

分三个阶段：

第Ⅰ阶段（未裂阶段）

开始加荷时，纯弯段截面的弯矩很小，混凝土处于弹性工作阶段，截面应力很小，沿截面高度呈三角形分布。当弯矩增加到第Ⅰ阶段末时，受拉区塑性变形明显发展，拉应力分布逐渐变化为曲线。此时所能承受的弯矩 M_{cr} 称为开裂弯矩，其应力分布图是计算构件抗裂能力的依据。

第Ⅱ阶段（开裂阶段）

在裂缝截面处，受拉区混凝土大部分退出工作，拉应力基本上由钢筋承担，是构件正常使用状态下所处的阶段。当对构件的变形和裂缝宽度有限制时，以该阶段的应力图作为计算依据。当到达第Ⅱ阶段末时，钢筋应力达到屈服强度，即 $\sigma_s = f_y$。

第Ⅲ阶段（破坏阶段）

由于钢筋屈服，受拉区垂直裂缝向上延伸，裂缝宽度迅速发展，受压区高度减小，应力图形为曲线分布，最后受压区边缘混凝土到达极限应变值时，构件即破坏，此时弯矩值达到极限弯矩 M_u。我们将Ⅲ阶段末的应力图形作为构件受弯承载力的依据。

从图 11-11 中，可以看出，适筋梁破坏过程经历的三个阶段正截面应力分布的变化特征是：随着荷载的逐步增加，中和轴也逐步上移；同时，受拉区混凝土拉应力逐步转移给纵向受拉钢筋，使其达到屈服强度；最后，混凝土受压区应力图形面积逐步增大，由三角形分布逐步变成接近于矩形分布。

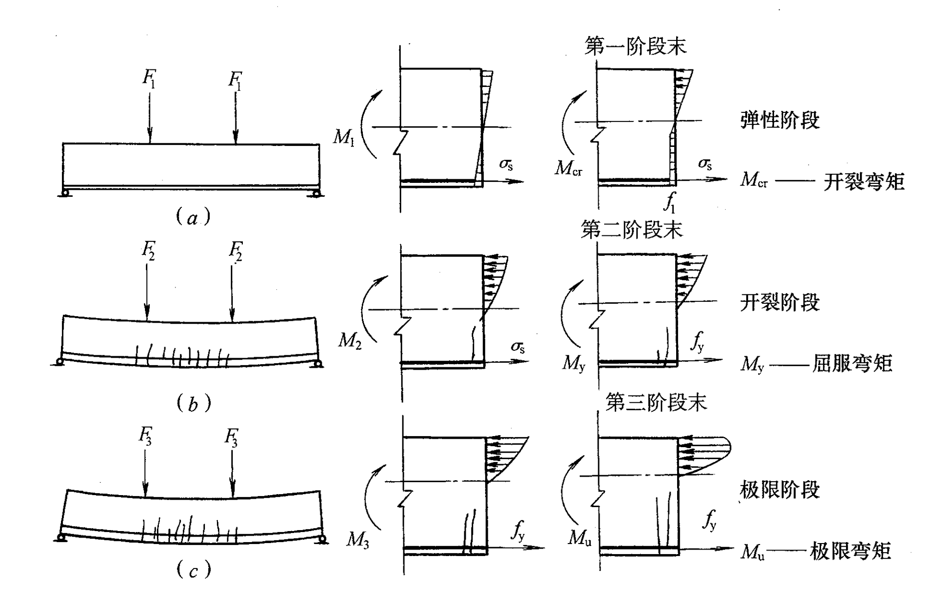


图 11-11　钢筋混凝土梁受弯时各阶段正截面应力分布

(a) 第一阶段；(b) 第二阶段；(c) 第三阶段

由上所述，适筋梁的破坏属拉压破坏，破坏前纵向钢筋先屈服，然后裂缝开展很宽，构件挠度亦较大，这种破坏是有预兆的，称为塑性破坏。由于适筋梁受力合理，可以充分发挥材料的强度，因此实际工程中我们都把钢筋混凝土梁设计成适筋梁。

(2) 超筋梁的破坏（受压破坏）

当梁的纵向配筋率 $\rho=\dfrac{A_s}{bh_0}$ 过大时，亦即 $\rho>\rho_{max}$，由于配筋过多，破坏时梁的钢筋应力尚未达到屈服强度，而受压区混凝土先达到极限应变被压坏。破坏时受拉区的裂缝开展不大，挠度也不明显，因此破坏是突然发生的，没有明显的预兆，属于脆性破坏。

(3) 少筋梁的破坏（瞬时受拉破坏）

当梁的纵向配筋率 ρ 低于最小配筋率 ρ_{min} 时，构件只要一开裂，原来由混凝土承受的拉应力全部转移给纵向钢筋承担，钢筋受力骤然增加，但因钢筋数量太少，很快就屈服，甚至被拉断，这种破坏无明显预兆，也属于脆性破坏。

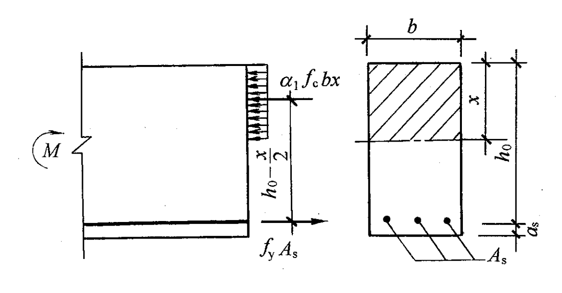


图 11-12　单筋矩形截面梁的受弯承载力计算简图

实际工程中，我们应当避免出现超筋梁和少筋梁。

2. 单筋矩形截面计算

(1) 基本计算公式

对适筋梁，根据前述第Ⅲ阶段末的应力分布图，将混凝土受压区应力图形进一步简化成矩形分布，即图 11-12。

由平衡条件可得基本计算公式为：

$$\Sigma X=0 \qquad \alpha_1 f_c bx = f_y A_s \tag{11-16}$$

$$\Sigma M=0 \qquad M=\alpha_1 f_c bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right) \tag{11-17}$$

或

$$M = f_y A_s \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) \tag{11-18}$$

式中 $h_0 = h - a_s$；

a_s——受拉钢筋合力点至截面受拉边缘的距离；

α_1——系数，按《混凝土规范》第 6.2.6 条的规定计算。当混凝土强度等级不超过 C50 时，α_1 取为 1.0，当为 C80 时，取为 0.94，其间接线性内插确定。

两个独立方程，可求解两个未知量：x 和 A_s。实际上，还可采用系数简化法和近似法求解。近似法公式：

$$A_s = \frac{M}{0.9 h_0 f_y}$$

（2）适用条件

为了保证受弯构件适筋破坏，不出现超筋和少筋破坏，基本计算公式（11-16）～式（11-18）必须满足下列适用条件：

$$\left.\begin{aligned} &\xi \leqslant \xi_b \\ \text{或} \quad &x \leqslant x_b = \xi_b h_0 \\ \text{或} \quad &\rho \leqslant \rho_{max} = \xi_b \frac{\alpha_1 f_c}{f_y} \end{aligned}\right\} \tag{11-19}$$

为了避免出现少筋破坏，尚需满足：

$$\left.\begin{aligned} &\rho \geqslant \rho_{min} \\ \text{或} \quad &A_s \geqslant \rho_{min} bh \end{aligned}\right\} \tag{11-20}$$

（3）最大配筋率 ρ_{max} 和最小配筋率 ρ_{min}

最大配筋率 ρ_{max} 是保证梁不发生超筋破坏的上限配筋率。其值为：

$$\rho_{max} = \xi_b \frac{\alpha_1 f_c}{f_y} \tag{11-21}$$

最小配筋率是根据钢筋混凝土受弯构件破坏时所能承受的弯矩 M 等于同截面的素混凝土受弯构件截面所能承受的弯矩 M_{cr}，并考虑温度、收缩应力、构造要求和设计经验等因素确定的。最小配筋率 ρ_{min} 见表 11-6。

纵向受力钢筋的最小配筋百分率 ρ_{min}（%） **表 11-6**

受力类型			最小配筋百分率
受压构件	全部纵向钢筋	强度等级 500MPa	0.50
		强度等级 400MPa	0.55
		强度等级 300MPa、335MPa	0.60
	一侧纵向钢筋		0.2
受弯构件、偏心受拉、轴心受拉构件一侧的受拉钢筋			0.2 和 $45f_t/f_y$ 中的较大值

注：1. 受压构件全部纵向钢筋最小配筋百分率，当采用 C60 以上强度等级的混凝土时，应按表中规定增加 0.10；
2. 板类受弯构件（不包括悬臂板）的受拉钢筋，当采用强度等级 400MPa、500MPa 的钢筋时，其最小配筋百分率应允许采用 0.15 和 $45f_t/f_y$ 中的较大值；
3. 偏心受拉构件中的受压钢筋，应按受压构件一侧纵向钢筋考虑；
4. 受压构件的全部纵向钢筋和一侧纵向钢筋的配筋率以及轴心受拉构件和小偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率均应按构件的全截面面积计算；
5. 受弯构件、大偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率应按全截面面积扣除受压翼缘面积 $(b'_f - b)h'_f$ 后的截面面积计算；
6. 当钢筋沿构件截面周边布置时，“一侧纵向钢筋”系指沿受力方向两个对边中一边布置的纵向钢筋。

要提高单筋矩形截面受弯构件承载能力，最有效的办法是加大截面高度，另外，减小跨度（如在梁跨中加设柱）也是有效的办法。

3. 双筋矩形截面计算

当梁截面高度受到限制或当有变号弯矩时，可在受压区配置一定数量的受压钢筋，与受压区混凝土共同抵抗截面的压力，这就成了双筋矩形截面梁。双筋矩形截面梁还可减少混凝土的徐变，提高构件的长期刚度。另外，还由于提高了构件的延性，从而改善抗震性能。

如图 11-13 所示，双筋矩形截面应力图形可看成由两部分叠加而成：一部分由受压混凝土的压力与相应受拉钢筋 A_{s1} 的拉力所组成；另一部分由受压钢筋 A'_s 的压力与它相应的一部分受拉钢筋 A_{s2} 的拉力组成。

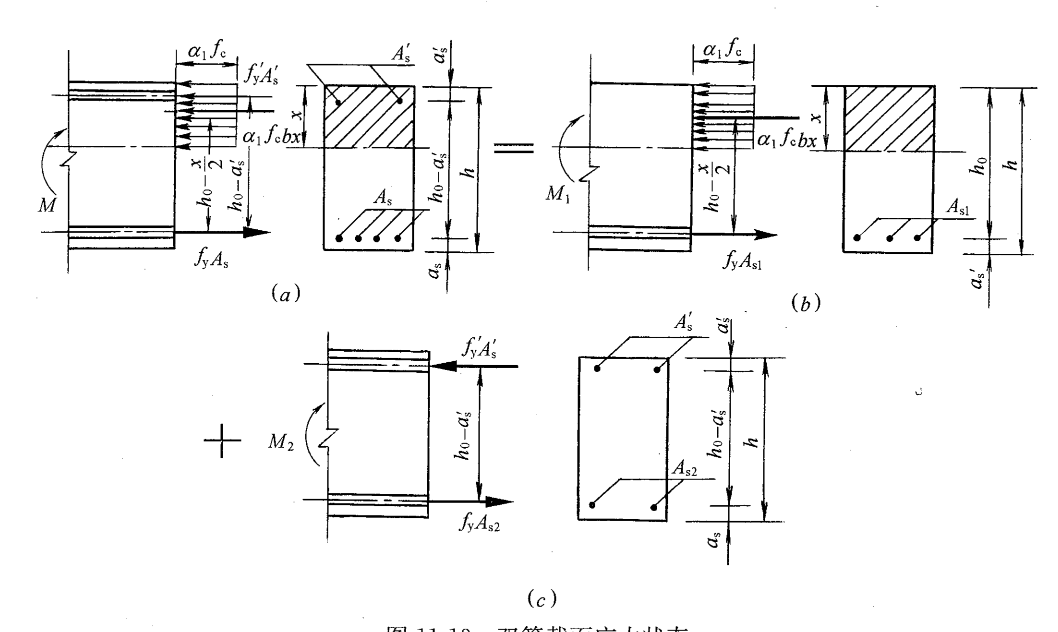


图 11-13　双筋截面应力状态

(a) 整个截面；(b) 第一部分截面；(c) 第二部分截面

(1) 基本计算公式

双筋矩形截面受弯承载力设计值 M 可写成：

$$M = M_1 + M_2 \tag{11-22}$$

式中　M_1——受压区混凝土的压力与相应的受拉钢筋 A_{s1} 的拉力所形成的受弯承载力设计值；

M_2——受压钢筋 A'_{s1} 的压力与它相应的一部分受拉钢筋的拉力所形成的受弯承载力设计值。

受拉钢筋的总面积为：

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \tag{11-23}$$

根据平衡条件，可写出双筋矩形截面的受弯承载力公式为：

$$\alpha_1 f_c bx + f'_y A'_s = f_y A_s \tag{11-24}$$

$$M \leqslant M_u = \alpha_1 f_c bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + f'_y A'_s(h_0 - a'_s) \tag{11-25}$$

两个独立方程，无法解出 3 个未知量：x、A_s、A'_s、为了求解，须增加 1 个方程：令 $\xi=\xi_b$，ξ_b 可按式（11-12）确定。

（2）适用条件

为了防止构件出现超筋破坏，应满足：

$$\xi \leqslant \xi_b \quad 或 \quad x \leqslant \xi_b h_0 \tag{11-26}$$

为了保证受压钢筋达到规定的抗压强度设计值，应满足：

$$x \geqslant 2a'_s（即受压钢筋必须在混凝土受压区压应力合力之上） \tag{11-27}$$

当 $x < 2a'_s$ 时，为了简化计算，可近似地取 $x = 2a'_s$，即认为混凝土受压区压应力的合力与受压钢筋 A'_s 重合（图 11-14），此时，受弯承载力的计算公式为：

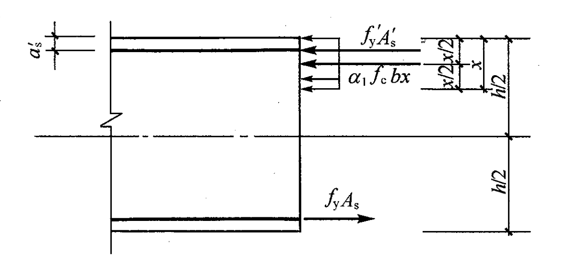


图 11-14 $x < 2a'_s$ 时的受弯承载力

$$M = f_y A_s (h_0 - a'_s) \tag{11-28}$$

4. T 形截面计算

（1）T 形截面翼缘的计算宽度

在一般现浇楼盖中，楼板的一部分将参与梁的工作，而形成 T 形截面。试验及理论分析表明，与梁共同工作的楼板宽度是有限度的，这个宽度称为翼缘计算宽度。《混凝土规范》列出了 T 形、I 形及倒 L 形截面受弯构件位于受压区的翼缘计算宽度 b'_f。

T 形、I 形及倒 L 形截面受弯构件位于受压区的翼缘计算宽度 b'_f 应按表 11-7 所列情况中的最小值取用。

受弯构件受压区有效翼缘计算宽度 b'_f **表 11-7**

情况		T 形、I 形截面		倒 L 形截面
		肋形梁（板）	独立梁	肋形梁（板）
1	按计算跨度 l_0 考虑	$l_0/3$	$l_0/3$	$l_0/6$
2	按梁（肋）净距 s_n 考虑	$b+s_n$	—	$b+s_n/2$
3	按翼缘高度 h'_f 考虑	$b+12h'_f$	b	$b+5h'_f$

注：1. 表中 b 为梁的腹板厚度；
2. 肋形梁在梁跨内设有间距小于纵肋间距的横肋时，可不考虑表中情况 3 的规定；
3. 加腋的 T 形、I 形和倒 L 形截面，当受压区加腋的高度 h_h 不小于 h'_f 且加腋的宽度 b_h 不大于 $3h_h$ 时，其翼缘计算宽度可按表中情况 3 的规定分别增加 $2b_h$（T 形、I 形截面）和 b_h（倒 L 形截面）；
4. 独立梁受压区的翼缘板在荷载作用下经验算沿纵肋方向可能产生裂缝时，其计算宽度应取腹板宽度 b。

（2）T 形截面的分类与判别

按中和轴的位置分为两类：中和轴在翼缘内通过时为第一类 T 形截面，中和轴在肋部通过时为第二类。

两类 T 形截面的判别方法：

截面设计时：

若 $M \leqslant \alpha_1 f_c b'_f h'_f \left(h_0 - \dfrac{h'_f}{2}\right)$，属第一类 T 形截面；

若 $M > \alpha_1 f_c b'_f h'_f \left(h_0 - \dfrac{h'_f}{2}\right)$，属第二类 T 形截面。

截面复核时：

若 $f_y A_s \leqslant \alpha_1 f_c b'_f h'_f$ 属第一类 T 形截面；

若 $f_y A_s > \alpha_1 f_c b'_f h'_f$ 属第二类 T 形截面。

（3）两类 T 形截面的基本计算公式及适用条件

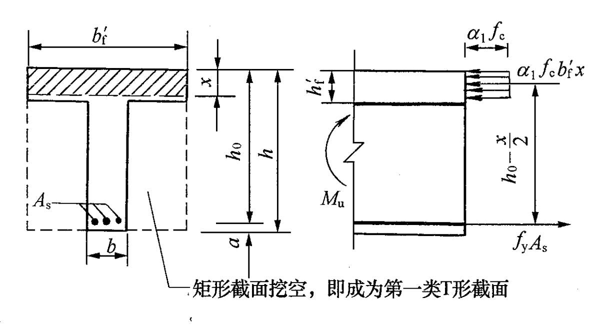


图 11-15　第一类 T 形截面应力图

1）第一类 T 形截面

由于不考虑混凝土的抗拉能力，故第一类 T 形截面的计算相当于宽度为 b'_f 的矩形截面计算（图 11-15），此时，只需将单筋矩形截面基本计算公式中的梁宽 b 代换为翼缘宽度 b'_f，得

$$\alpha_1 f_c b'_f x = f_y A_s \tag{11-29}$$

$$M = \alpha_1 f_c b'_f x\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) \tag{11-30}$$

公式适用条件为：

$$\xi \leqslant \xi_b \text{ 或 } x \leqslant \xi_b h_0 \tag{11-31}$$

一般情况下由于 h'_f/h 很小，故该条件均能满足。

$\rho = \dfrac{A_s}{bh_0} \geqslant \rho_{min}$　规范规定，计算 T 形截面配筋率 ρ 时取肋宽。

2）第二类 T 形截面

第二类 T 形截面的中和轴通过肋部。应力图形见图 11-16。可看做由两部分组成：一部分由肋部受压区混凝土的压力与相应的钢筋 A_{s1} 的拉力所组成[图 11-16(*b*)]；另一部分由翼缘混凝土的压力与相应的钢筋 A_{s2} 的拉力所组成[图11-16(*c*)]。因此，第二类 T 形截面的受弯承载力设计值可写成：

$$M = M_1 + M_2 \tag{11-32}$$

式中　M_1——肋部受压区混凝土的压力与其相应的钢筋 A_{s1} 的拉力所形成的受弯承载力设计值；

M_2——翼缘混凝土的压力与其相应的钢筋 A_{s2} 的拉力所形成的受弯承载力设计值。

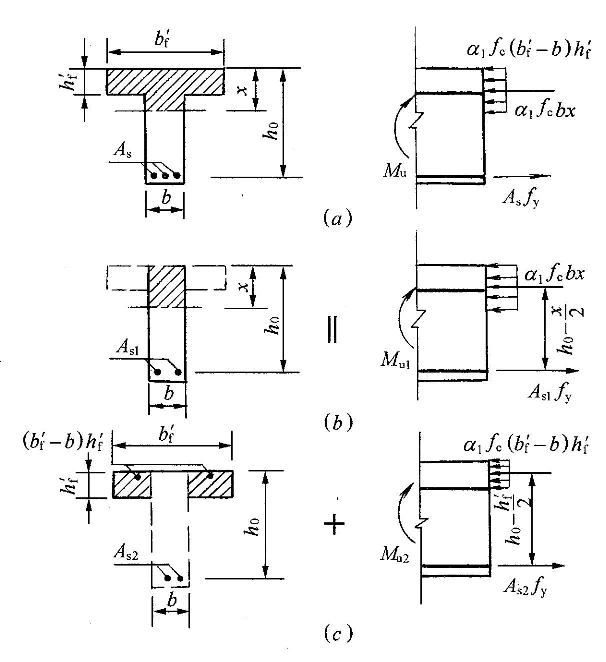


图 11-16　第二类 T 形截面应力图
（*a*）整个截面；（*b*）第一部分截面；（*c*）第二部分截面

受拉钢筋总面积：

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \tag{11-33}$$

整个 T 形截面受弯承载力基本计算公式为：

$$\alpha_1 f_c bx + \alpha_1 f_c (b'_f - b)h'_f = f_y A_s \tag{11-34}$$

$$M \leqslant M_u = \alpha_1 f_c bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + \alpha_1 f_c (b'_f - b)h'_f\left(h_0 - \frac{h'_f}{2}\right) \tag{11-35}$$

上述基本计算公式应满足下列适用条件：

$$\left.\begin{aligned} x &\leqslant \xi_b h_0 \\ \rho &\geqslant \rho_{min} \end{aligned}\right\} \tag{11-36}$$

因为第二类 T 形截面的配筋较多，均能满足最小配筋率的要求，因此不必验算这一条件。

（三）受压构件正截面承载力计算

钢筋混凝土受压构件，分为轴心受压构件和偏心受压构件两大类。其中，当轴向力只在一个方向有偏心的称为单向偏心受压构件；当在两个方向均有偏心时，称为双向偏心受压构件（图 11-17）。

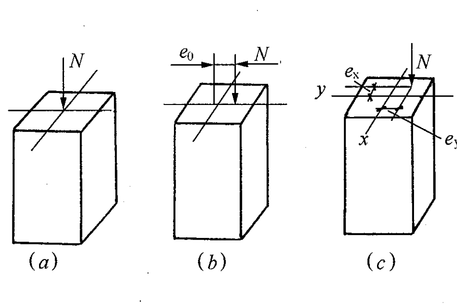


图 11-17



（a）轴心受压；（b）单向偏心受压；（c）双向偏心受压

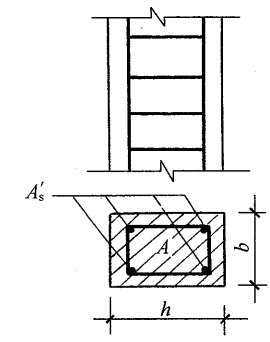


图 11-18　配置箍筋的钢筋混凝土轴心受压构件截面

1. 轴心受压构件

轴压柱箍筋配置形式分为普通箍筋和螺旋箍筋（或焊接环式间接钢筋）两种。

（1）配置普通箍筋的轴心受压构件

图 11-18，轴心受压构件的正截面承载力按下式计算

$$N \leqslant 0.9\varphi(f_c A + f'_y A'_s) \tag{11-37}$$

式中　N——轴向压力设计值；

φ——钢筋混凝土构件的稳定系数，按表 11-8 采用；

f'_y——纵向钢筋的抗压强度设计值（$f'_y \leqslant 400\text{N/mm}^2$）；

f_c——混凝土的轴心抗压强度设计值，按《混凝土规范》表 4.1.4-1 采用；其中在确定构件的计算长度时，按《混凝土规范》第 6.2.20 条取用；

A——构件截面面积。当纵向钢筋配筋率＞3%时，构件截面面积应扣除钢筋面积，即式中 A 项为 A_n（$A_n = A - A'_s$）。

轴心受压构件的受力性能与构件的长细比（矩形截面为 l_0/b）有关。由于材料性质和施工因素造成的偏心影响，使长柱承载能力低于短柱。另外，由于长细比过大，也可能使长柱发生“失稳破坏”。因此，公式（11-37）中引入了稳定系数来反映长柱承载能力较短柱的降低程度。系数 φ 见表 11-8；φ 越少，承载能力降低越多。

钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数 φ　　　　**表 11-8**

矩形	l_0/b	≤8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
圆形	l_0/d	≤7	8.5	10.5	12	14	15.5	17	19	21	22.5	24
任意形	l_0/i	≤28	35	42	48	55	62	69	76	83	90	97
	φ	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56
矩形	l_0/b	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
圆形	l_0/d	26	28	29.5	31	33	34.5	36.5	38	40	41.5	43
任意形	l_0/i	104	111	118	125	132	139	146	153	160	167	174
	φ	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

注：表中 l_0 为构件的计算长度，对钢筋混凝土柱可按表 11-9 和表 11-10 取用；b 为矩形截面的短边尺寸；d 为圆形截面的直径；i 为截面的最小回转半径。

柱的计算长度等于其几何长度乘以一个系数，即 $l_0=\psi l$。在材料力学中，ψ 与柱两端的支承条件有关。当两端为铰接时，$\psi=1.0$；一端为固定、另一端为铰接时，$\psi=0.7$；两端为固定时，$\psi=0.5$；一端为固定，另一端为自由时，$\psi=2.0$。实际工程中，柱的支承条件比材料力学中设定的理想化条件远为复杂。

轴心受压和偏心受压柱的计算长度 l_0 应按下列规定确定：

刚性屋盖单层房屋排架柱、露天吊车柱和栈桥柱，其计算长度 l_0 按表 11-9 取用。

刚性屋盖单层房屋排架柱、露天吊车柱和栈桥柱的计算长度　　表 11-9

柱的类别		l_0		
		排架方向	垂直排架方向	
			有柱间支撑	无柱间支撑
无吊车房屋柱	单跨	$1.5H$	$1.0H$	$1.2H$
	两跨及多跨	$1.25H$	$1.0H$	$1.2H$
有吊车房屋柱	上柱	$2.0H_u$	$1.25H_u$	$1.5H_u$
	下柱	$1.0H_l$	$0.8H_l$	$1.0H_l$
露天吊车柱和栈桥柱		$2.0H_l$	$1.0H_l$	—

注：1. 表中 H 为从基础顶面算起的柱子全高；H_l 为从基础顶面至装配式吊车梁底面或现浇式吊车梁顶面的柱子下部高度；H_u 为从装配式吊车梁底面或从现浇式吊车梁顶面算起的柱子上部高度；
2. 表中有吊车房屋排架柱的计算长度，当计算中不考虑吊车荷载时，可按无吊车房屋柱的计算长度采用，但上柱的计算长度仍可按有吊车房屋采用；
3. 表中有吊车房屋排架柱的上柱在排架方向的计算长度，仅适用于 H_u/H_l 不小于 0.3 的情况；当 H_u/H_l 小于 0.3 时，计算长度宜采用 $2.5H_u$。

一般多层房屋中梁柱为刚接的框架结构，各层柱的计算长度 l_0 按表 11-10 取用。

框架结构各层柱的计算长度　　表 11-10

楼盖类型	柱的类别	l_0
现浇楼盖	底层柱	$1.0H$
	其余各层柱	$1.25H$
装配式楼盖	底层柱	$1.25H$
	其余各层柱	$1.5H$

注：表中 H 对底层柱为从基础顶面到一层楼盖顶面的高度；对其余各层柱为上下两层楼盖顶面之间的高度。

表 11-9 和表 11-10 中，柱的几何长度 H 前的系数即为材料力学公式中的 ψ。

式（11-37）中，影响轴心受压柱承载能力的主要因素是混凝土强度等级和构件截面面积，而用加大受压钢筋数量来提高承载力是不经济的，且钢筋强度不能充分发挥。

从式（11-37），可得出轴心受压构件纵向受压钢筋面积为：

$$A'_s=\frac{\dfrac{N}{0.9\varphi}-f_cA}{f'_y} \tag{11-38}$$

式（11-38）中，须满足条件：　$A'_s\geqslant\rho'_{min}A$　　(11-39)

式中　ρ'_{min}——轴心受压构件最小配筋率按表 11-6 确定。

（2）配置螺旋箍筋或焊接环式间接钢筋的轴心受压构件

由于螺旋箍筋对核心混凝土的约束作用，提高了核心混凝土的抗压强度，从而使构件的承载力有所提高。配有螺旋箍筋的柱的承载力计算公式为：

$$N \leqslant 0.9(f_c A_{cor} + f'_y A'_s + 2\alpha f_y A_{sso}) \tag{11-40}$$

式中 A_{cor}——构件的核心截面面积：间接钢筋内表面范围内的混凝土面积；

f_y——螺旋筋（或焊接环式间接钢筋）的抗拉强度设计值；

A_{sso}——螺旋式或焊接环式间接钢筋的换算截面面积；

$$A_{sso} = \frac{\pi d_{cor} A_{ss1}}{s} \tag{11-41}$$

d_{cor}——构件的核心截面直径：间接钢筋内表面之间的距离；

A_{ss1}——螺旋式或焊接环式单根间接钢筋的截面面积；

s——间接钢筋沿构件轴线方向的间距；

α——间接钢筋对混凝土约束的折减系数：当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时，取 0.85，其间按线性内插法确定。

注意规范规定，按公式（11-40）算得的构件受压承载能力设计值不应大于按公式（11-37）算得的构件受压承载力设计值的 1.5 倍，且不得小于 1.0 倍。

2. 偏心受压构件

偏压柱按受力情况分为大偏压和小偏压两种，按配筋形式分为对称配筋和非对称配筋两种。

（1）偏心受压构件受力性能及有关规定

1）偏心受压构件的破坏分两种情况：

大偏心受压破坏（受拉破坏）[图 11-19（*a*）]：当偏心距较大或受拉钢筋较小时，构件的破坏是由于纵向受拉钢筋先达到屈服引起的，因此，属于受拉破坏。钢筋屈服后垂直裂缝发展，受压高度减小，压应力值加大，最后导致压区混凝土压坏。这种情况，构件的承载力取决于受拉钢筋的强度。

小偏心受压破坏（受压破坏）[图 11-19（*b*）、（*c*）]：当偏心距较小或偏心距虽然较大但纵向受拉钢筋较多时，构件的破坏是由压区混凝土达到极限应变值 ε_{cu} 引起的。破坏时，距轴向力较远一侧的混凝土可能受压，也可能受拉。受拉区混凝土可能出现裂缝，也可能不出现裂缝，但处于该位置的纵向钢筋不论受拉或受压一般均未达到屈服。

大小偏心受压构件的判别：按相对受压区高度 ξ 来判别。

当 $\xi \leqslant \xi_b$ 时，属大偏心受压构件；当 $\xi > \xi_b$ 时，属小偏心受压构件。其中，ξ——相对受压区高度；ξ_b——界限相对受压区高度。

2）三个偏心距：荷载偏心距 e_0、附加偏心距 e_a 及初始偏心距 e_i：

荷载偏心距 e_0 是指轴向压力 N 对截面重心的偏心距，$e_0 = M/N$。

附加偏心距 e_a 是指考虑到荷载作用位置及施工时可能产生偏差等因素，计算时对荷载偏心距进行修正。其值应取 20mm 和偏心方向截面最大尺寸的 1/30 两者中的较大值。

实际设计计算时，规范采用初始偏心距 e_i 代替荷载偏心距 e_0，其计算公式为：

$$e_i = e_0 + e_a \tag{11-42}$$

3）除排架结构柱外，其他偏心受压构件考虑轴向压力在挠曲杆件中产生的效应后控

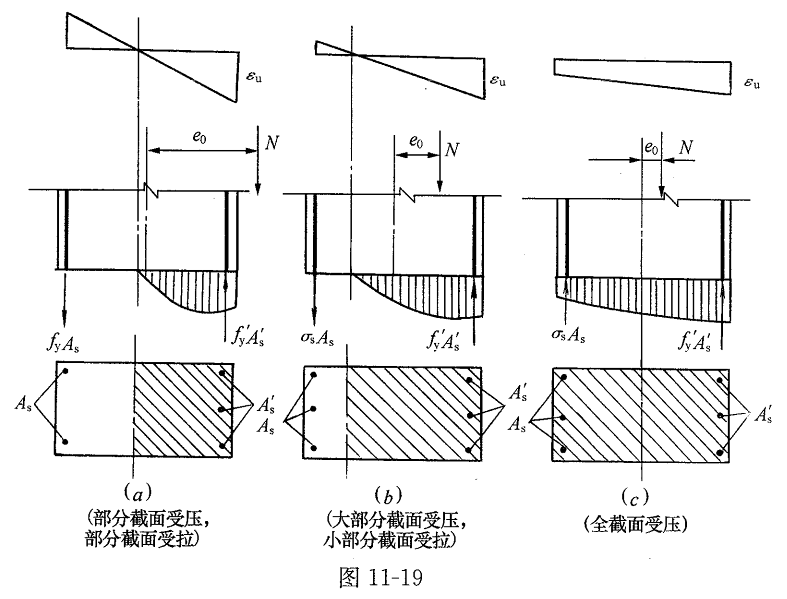


图 11-19

(a) 大偏心受压；(b)、(c) 小偏心受压

制截面的弯矩设计值，应将计算弯矩乘以偏心距调节系数和弯矩增大系数，详见《混凝土规范》第 6.2（Ⅲ）节。

（2）矩形截面偏心受压构件

1）基本计算公式

大偏心受压构件（$\xi \leqslant \xi_b$）：

根据假定，受压钢筋应力达到 f'_y 受拉区混凝土不参加工作，受拉钢筋应力达到 f_y，由图 11-20 可得其正截面承载力计算公式为：

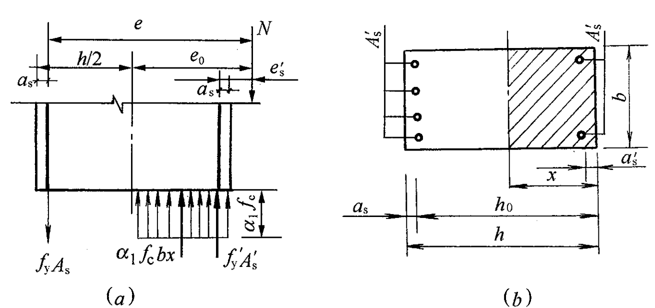


图 11-20 大偏心受压构件计算简图

$$\Sigma y = 0, \quad N \leqslant \alpha_1 f_c b \xi h_0 + f'_y A'_s - f_y A_s \tag{11-43}$$

$$\Sigma M = 0, \quad Ne \leqslant \alpha_1 f_c b \xi h_0^2 (1 - 0.5\xi) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \tag{11-44}$$

两个独立方程，求解 3 个未知量：x、A_s、A'_s。可令 $\xi = \xi_b$。如采用对称配筋，计算可大大简化。

式中 N——轴向力设计值；

ξ——相对受压区高度，$\xi = x/h_0$；

e——轴向力作用点至受拉钢筋截面重心的偏心距；

$$e = e_i + \frac{h}{2} - a_s \tag{11-45}$$

e_i——初始偏心距；

$$e_i = e_0 + e_a$$

式（11-43）、式（11-44）须满足下列适用条件：

$$\left.\begin{aligned}&\xi \leqslant \xi_b\\&x \geqslant 2a'_s \text{或} \xi h_0 \geqslant 2a'_s\end{aligned}\right\} \tag{11-46}$$

当不满足后一条件时，其正截面承载力可按下式计算（图 11-21）：

$$Ne' = f_y A_s (h_0 - a'_s) \tag{11-47}$$

式中　e'——轴向力 N 的作用点至受压钢筋 A'_s 重心的距离。

小偏心受压的构件（$\xi > \xi_b$）：

由于距轴向力较远一侧钢筋中心应力值，不论受压或受拉均未达到强度设计值（即 $\sigma_s < f_y$ 或 $\sigma_s < f'_y$）。根据图 11-22，小偏心受压构件正截面承载力计算公式为：

当 $x < 2a'_s$ 时，令 $x = 2a'_s$

$$\Sigma Y = 0 \quad N \leqslant \alpha_1 f_c bx + f'_y A'_s - \sigma_s A'_s \tag{11-48}$$

$$\Sigma M = 0 \quad Ne \leqslant \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \tag{11-49}$$

两个独立方程，4 个未知量：x、A_s、A'_s、σ_s。令 $\xi = \xi_b$，且 σ_s 采用规范的近似公式[即式（11-52）]，即可求解。

如为对称配筋，可按规范近似公式［即式（11-58）、（11-59）］计算，计算过程可大大简化。

式中

$$e = e_i + \frac{h}{2} - a_s \tag{11-50}$$

$$e_i = e_0 + e_a \tag{11-51}$$

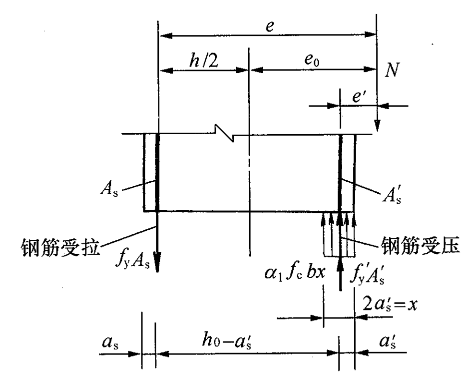


图 11-21　大偏心受压构件计算简图

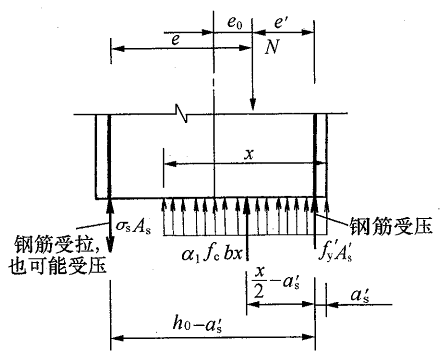


图 11-22　小偏心受压构件计算简图

《混凝土规范》建议，式（11-48）中的 σ_s 可按下列简化公式计算：

$$\sigma_s = \frac{f_y}{\xi_b - \beta_1}(\xi - \beta_1) \tag{11-52}$$

按上式计算出的 σ_s 应满足下列条件：

$$-f'_y < \sigma_s < f_y \tag{11-53}$$

2）对称配筋偏心受压矩形截面的设计

偏心受压构件在各种不同荷载组合下（如在风荷载或地震作用与垂直荷载组合时），

弯矩可能变号，当两种不同符号的弯矩相差不大时，为了施工和吊装方便，通常设计成对称配筋，即：

$$A_s = A'_s \tag{11-54}$$

大偏心受压构件计算（$\xi \leqslant \xi_b$）

令 $f_y = f'_y$，由式（11-43）得

$$\xi = \frac{N}{\alpha_1 f_c b h_0} \tag{11-55}$$

经分析后可得出计算钢筋面积的公式如下：

$$A_s = A'_s = \frac{Ne - \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi(1-0.5\xi)}{f'_y(h_0 - a'_s)} \tag{11-56}$$

其中

$$e = e_i + \frac{h}{2} - a'_s$$

若 $\xi h_0 < 2a'_s$，表示受压钢筋不能达到屈服强度。可近似取 $x = \xi h_0 = 2a'_s$，对 A'_s 钢筋合力取矩，可得

$$A_s = A'_s = \frac{Ne'}{f'_y(h_0 - a'_s)} \tag{11-57}$$

其中

$$e' = e_i - \frac{h}{2} + a'_s$$

小偏心受压构件计算（$\xi > \xi_b$）

《混凝土规范》给出了小偏心受压矩形截面对称配筋的近似公式如下：

$$\xi = \frac{N - \xi_b \alpha_1 f_c b h_0}{\dfrac{Ne - 0.43\alpha_1 f_c b h_0^2}{(\beta_1 - \xi_b)(h_0 - a'_s)} + \alpha_1 f_c b h_0} + \xi_b \tag{11-58}$$

$$A_s = A'_s = \frac{Ne - \xi(1-0.5\xi)\alpha_1 f_c b h_0^2}{f'_y(h_0 - a'_s)} \tag{11-59}$$

（四）受拉构件正截面承载力计算

1. 轴心受拉构件承载力计算

由于混凝土抗拉强度很低，轴心受拉构件按正截面计算时，不考虑混凝土参加工作，拉力全部由纵向钢筋承担。计算公式为

$$N \leqslant f_y A_s \tag{11-60}$$

式中 N——轴向拉力设计值；

A_s——受拉钢筋全部截面面积。

2. 偏心受拉构件承载力计算

根据偏心拉力的作用位置不同，偏心受拉构件分为大偏心受拉和小偏心受拉两种。当轴向拉力的作用位置在钢筋 A_s 和 A'_s 之间时，不管偏心距大小如何，构件破坏时，均为全截面受拉，这种情况称为小偏心受拉；当轴向拉力作用在钢筋 A_s 和 A'_s 的范围以外时，受荷后截面部分受压、部分受拉，其破坏形态与大偏心受压构件类似，这种情况称为大偏心受拉。

（1）矩形截面小偏心受拉构件承载力计算

图 11-23，分别对 A_s 和 A'_s取矩，可写出承载力计算表达式：

$$\Sigma M_{A'_s}=0 \qquad Ne'\leqslant f_yA_s(h'_0-a_s) \tag{11-61}$$

于是

$$A_s\geqslant\frac{Ne'}{f_y(h'_0-a_s)} \tag{11-62}$$

式中

$$e'=\frac{h}{2}-a'_s+e_0 \tag{11-63}$$

$$\Sigma M_{A_s}=0, Ne'\leqslant f'_yA'_s(h_0-a'_s)$$

于是

$$A'_s\geqslant\frac{Ne'}{f'_y(h_0-a'_s)} \tag{11-64}$$

式中

$$e=\frac{h}{2}-a_s-e_0 \tag{11-65}$$

(2) 矩形截面大偏心受拉构件承载力计算

图 11-24，利用平衡条件即可写出大偏心受拉承载力计算

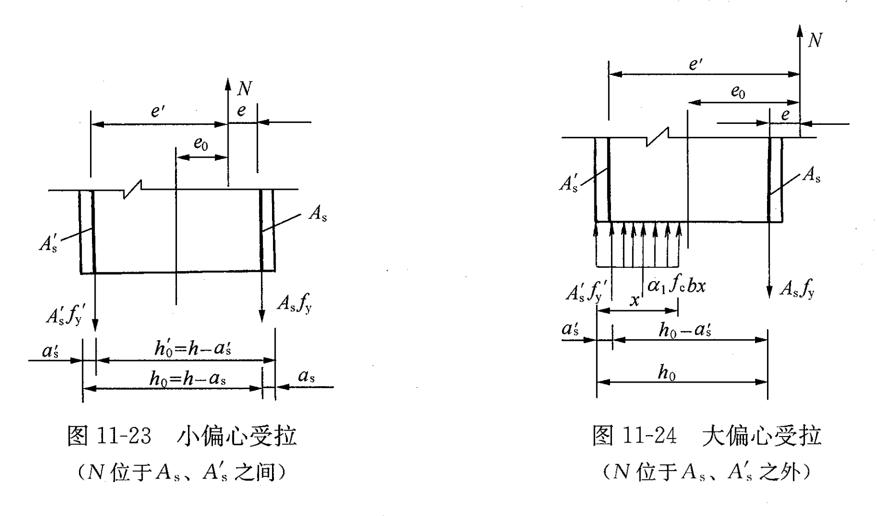


图 11-23 小偏心受拉
（N 位于 A_s、A'_s 之间）

图 11-24 大偏心受拉
（N 位于 A_s、A'_s 之外）

$$\Sigma y=0, \quad N\leqslant f_yA_s-f'_yA'_s-\alpha_1f_cbx \tag{11-66}$$

$$\Sigma M_{A_s}=0, \quad Ne\leqslant\alpha_1f_cbx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+f'_yA'_s(h_0-a'_s) \tag{11-67}$$

式中

$$e=e_0-\frac{h}{2}+a_s \tag{11-68}$$

式 (11-66)、式 (11-67) 的适用条件是：

$$\begin{cases}x\leqslant\xi_bh_0 \qquad x\geqslant 2a'_s\\ A_s\geqslant\rho_{min}bh_0\end{cases} \tag{11-69}$$

其中 ρ_{min} 为偏心受拉构件最小配筋率。

当 $x<2a'_s$时，钢筋 A'_s的应力可能受拉或受压，但未达到抗压强度设计值。此时，可近似认为压区混凝土的合力 α_1f_cbx 的作用点即在钢筋 A'_s的合力作用点上，而截面受拉承载力由下式确定：

$$Ne' \leqslant f_y A_s (h'_0 - a'_s) \tag{11-70}$$

上式和小偏心受拉公式（11-62）相同。

（3）对称配筋的矩形截面偏心受拉构件，不论大、小偏心受拉，均按公式（11-70）计算。

二、斜截面承载力计算

（一）梁沿斜截面破坏的主要形态

根据试验证明，由于荷载的类别（集中或均布荷载）、加载方式（直接加载或间接加载）、剪跨比、腹筋用量等因素的影响，梁沿截面破坏大致可归纳为三种主要破坏形态，即：斜压破坏、剪压破坏、斜拉破坏。

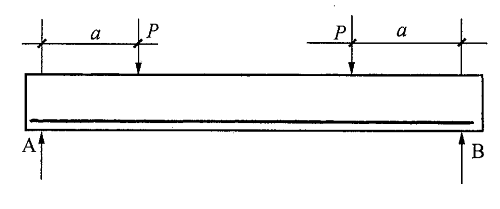


图 11-25

1. 剪跨比的概念

对于承受两个集中荷载的简支梁（图 11-25），集中荷载至支座的距离 a 称为剪跨，剪跨 a 与截面有效高度 h_0 的比值称为剪跨比，即：

$$\lambda = \frac{a}{h_0} = \frac{Va}{Vh_0} = \frac{M}{Vh_0} \tag{11-71}$$

式（11-71）表明，剪跨比 λ 反映了截面上弯矩与剪力的相对比值。

2. 三种主要破坏形态

（1）斜压破坏。当剪跨比较小，或腹筋配置过多时，可能产生斜压破坏。破坏时，首先在梁腹部出现若干条大体相互平行的斜裂缝，随着荷载的增加，这些大体相互平行的斜裂缝将梁腹部分割成若干个倾斜的受压小柱体，最后，这些小斜柱体的混凝土在弯矩和剪力复合作用下，被压碎而破坏[图 11-26(*a*)]，破坏时腹筋未达到屈服强度，因而，这种破坏属于脆性破坏，设计时应予避免。

（2）斜拉破坏。当剪跨比较大，或腹筋配置较少时，可能产生斜拉破坏。破坏时，斜裂缝一旦出现，即很快形成一条主斜裂缝并迅速扩展到集中荷载作用点处，梁被分成两部分而破坏[图 11-26(*c*)]。这种破坏无明显的预兆，危险性较大，属于脆性破坏，设计时应予避免。

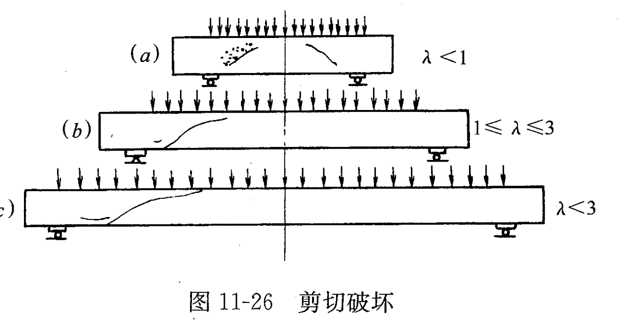


图 11-26　剪切破坏

(*a*) 斜压破坏；(*b*) 剪压破坏；(*c*) 斜拉破坏

（3）剪压破坏。当腹筋配置适当，剪跨比适中时，可能产生剪压破坏。剪压破坏的特征是，随着荷载的增加开始先出现一些垂直裂缝和由垂直裂缝延伸出来的细微的斜裂缝。当荷载增加到一定程度时，在数条斜裂缝中，将出现一条较长较宽的主要裂缝（即称为临界斜裂缝）。荷载再继续增加，临界斜裂缝不断向上延伸，使与其相交的箍筋达到屈服，同时，剪压区混凝土在剪应力和压应力共同作用下达到极限强度而破坏[图11-26(*b*)]。这种破坏是由于箍筋先屈服而后混凝土被压碎，破坏前虽有一定预兆，但这种预兆远没有适筋梁的正截面破坏明显。同时，考虑到强剪弱弯的设计要求，斜截面受剪承载力应有较大的可靠度，因此，仍将剪压破坏归为脆

性破坏。设计时应把构件控制在剪压破坏类型。

规范中给出了梁中允许的最大配箍量以避免形成斜压破坏；同时又规定了最小配箍量以防止发生斜拉破坏。

（二）无腹筋梁斜截面承载能力计算公式

1. 均布荷载作用下无腹筋梁的斜截面承载力

均布荷载作用下，无腹筋梁的剪切破坏可能发生在支座附近，也可能发生在跨中，只要支座处最大剪力不大于 $0.7\beta_h f_t b h_0$，即能保证梁不发生剪切破坏。因此，规范对均布荷载作用下无腹筋梁的斜截面承载力取为：

$$V_c = 0.7\beta_h f_t b h_0 \tag{11-72}$$

$$\beta_h = \left(\frac{800}{h_0}\right)^{1/4} \tag{11-73}$$

式中 V_c——构件斜截面上的最大剪力设计值；

β_h——截面高度影响系数；当 $h_0<800$mm 时，取 $h_0=800$mm；当 $h_0>2000$mm 时，取 $h_0=2000$mm；

f_t——混凝土轴心抗拉强度设计值，按《混凝土规范》表 4.1.4-2 采用。

2. 集中荷载作用下矩形截面无腹筋梁的斜截面承载力

$$V_c = \frac{1.75}{\lambda+1} f_t b h_0 \tag{11-74}$$

当 $\lambda<1.5$ 时，取 $\lambda=1.5$；当 $\lambda>3.0$ 时，取 $\lambda=3.0$。

式中 λ——计算截面的剪跨比，取 $\lambda=a/h_0$。a 为集中荷载作用点至支座截面或节点边缘的距离。

由于梁的破坏具有明显的脆性，同时还应考虑到温度收缩应力及施工时钢筋骨架成型的需要，因此，从构造上考虑，一般梁应按构造要求配置一定数量的箍筋。

（三）有腹筋梁斜截面承载力计算公式

腹筋指箍筋和弯起钢筋。对于有腹筋的梁，斜截面抗剪能力由三部分组成，见图 11-27。

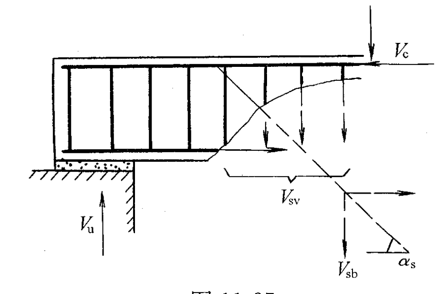


图 11-27

$$\Sigma y = 0, V_u = V_c + V_{sv} + V_{sb} \tag{11-75}$$

式中 V_u——斜截面总抗剪能力；

V_c——剪压区混凝土抗剪能力；

V_{sv}——与斜裂缝相交的箍筋的抗剪能力；

V_{sb}——与斜裂缝相交的弯起钢筋的抗剪能力。

1. 计算公式及适用条件

（1）同时配有箍筋和弯起钢筋的斜截面承载力的计算。

对于承受均布荷载的矩形、T 形及工字形截面梁，按下式计算：

$$\begin{aligned} V \leqslant V_u &= V_c + V_{sv} + V_{sb} \\ &= 0.7 f_t b h_0 + 1.0 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.8 f_{yv} A_{sb} \sin\alpha_s \end{aligned} \tag{11-76}$$

式中 V——构件斜截面上的最大剪力设计值；

f_t——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_{yv}——箍筋抗拉强度设计值；

A_{sv}——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积，$A_{sv}=nA_{sv1}$（n——在同一截面内箍筋的肢数，A_{sv1}——单肢箍筋的截面面积）；

s——箍筋的间距。

从式（11-76）可以看出，影响斜截面承载能力的主要因素是混凝土的强度等级，箍筋的直径、肢数和间距，梁的截面尺寸等，而与纵向钢筋无关。

对于承受以集中荷载为主（包括作用有多种荷载，其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力值的75%以上的情况）的矩形截面梁，应考虑剪跨比 λ 的影响，按下式计算：

$$V \leqslant V_u = \frac{1.75}{\lambda+1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.8 f_{yb} A_{sb} \sin\alpha_s \tag{11-77}$$

（2）计算公式的适用条件

从上述公式中可以看出，增加箍筋$\left(\frac{A_{sv}}{s}\right)$和弯起钢筋（$A_{sb}$）可以提高梁的抗剪承载力。但是不能随意无限制地增加，试验表明，若配置的腹筋过多时，在腹筋尚未达到屈服强度以前，梁腹部混凝土已发生斜压破坏。同时，斜压破坏受腹筋影响很小，主要取决于梁的截面尺寸和混凝土轴心抗拉强度。设计前，应先控制剪压比，确定混凝土强度等级（f_c）和截面尺寸（b、h_0）后，再进行斜截面受剪计算。规范规定，对矩形、T形和工字形截面的受弯构件，其受剪截面应符合下列条件：

当 $\frac{h_w}{b} \leqslant 4.0$ 时，$V \leqslant 0.25\beta_c f_c b h_0$ (11-78)

当 $\frac{h_w}{b} \geqslant 6.0$ 时，$V \leqslant 0.2\beta_c f_c b h_0$ (11-79)

当 $4.0 < \frac{h_w}{b} < 6.0$ 时，按线性内插法确定。

式中 V——构件斜截面上的最大剪力设计值；

β_c——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过C50时，取 $\beta_c=1.0$；当混凝土强度等级为C80时，取 $\beta_c=0.8$；其间按线性内插法确定；

f_c——混凝土轴心抗压强度设计值，按《混凝土规范》表4.1.3-1采用；

b——对矩形截面取截面宽度；对T形截面或工字形截面取腹板宽度；

h_0——截面的有效高度；

h_w——截面的腹板高度。对矩形截面取有效高度 h_0；对T形截面取有效高度减去翼缘高度；对工字形截面取腹板净高。

式（11-78）、（11-79）体现了控制梁的剪压比。剪压比为梁所受的剪力与梁的轴心抗压能力（f_cbh_0）的比值。控制剪压比的大小等于控制梁的截面尺寸不能太小，配筋率不能太大和剪力不能太大。当配筋率大于最大配筋率时，会发生斜压破坏。因此，控制剪压比是防止斜压破坏的措施。控制剪力的大小，可以达到限制斜裂缝宽度的作用。

通过上述公式经过分析，可求得为了防止发生斜压破坏时的最大配箍率为：

$$\rho_{sv,max} = 0.12f_c/f_{yv} \quad (11\text{-}80)$$

同时，为了防止斜截面产生斜拉破坏，箍筋配置也不能过少。

规范根据试验结果规定了最小配箍率为：

$$\rho_{sv,min} = 0.02f_c/f_{yv} \quad (11\text{-}81)$$

规范还对箍筋直径和最大间距 s 加以限制（详见《混凝土规范》第 9.2.9 条）。

2. 斜截面受剪承载力的计算位置

规范规定，下列各种斜截面应分别计算受剪承载力是否满足要求：

（1）支座边缘处的斜截面（图 11-28 截面 1-1）；

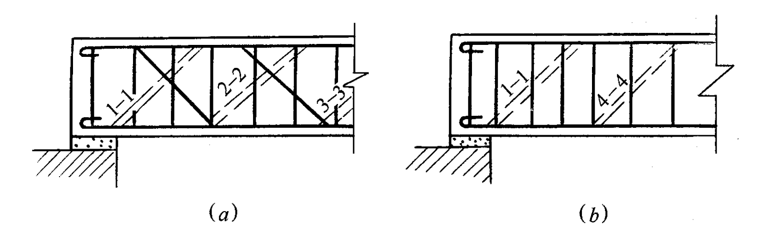


图 11-28 斜截面受剪承载力剪力设计值的计算截面

（a）弯起钢筋；（b）箍筋

1-1—支座边缘处的斜截面；2-2、3-3—受拉区弯起钢筋弯起点的斜截面；

4-4—箍筋截面面积或间距改变处的斜截面

（2）弯起钢筋弯起点处的斜截面（图 11-28 截面 2-2 和 3-3）；

（3）箍筋直径或间距改变处的斜截面（图 11-28 截面 4-4）；

（4）腹板宽度改变处的斜截面。

三、扭曲截面承载力计算

在钢筋混凝土结构中的一些构件中（如吊车梁、雨篷梁、钢筋混凝土框架边梁等），除受弯受剪外，还受到扭矩的作用，称为受扭构件或扭曲构件。扭曲构件分为纯扭、剪扭、弯扭和弯剪扭等受力情况。在实际工程中，一般都是扭转和弯曲同时发生。受扭截面常见的有矩形截面、T 形截面和工字形截面等几种。

（一）矩形截面纯扭构件的受扭承载力

在一般工程中，一般由截面核心部分混凝土、横向箍筋和沿构件截面周边均匀分布的纵向钢筋组成的骨架共同承担扭矩的作用。规范规定，位于梁中部的箍筋（或拉条）不参加抗扭。

1. 受扭构件的破坏特征

试验表明，根据受扭钢筋配筋率的不同，钢筋混凝土矩形截面受扭构件的破坏形态分为少筋破坏、适筋破坏和超筋破坏三种类型。

（1）少筋破坏。当构件受扭箍筋和纵向钢筋配置数量过少时，在扭矩作用下，在长边中点剪应力最大处形成 45°斜裂缝，随后，向相邻的其他两面以 45°角延伸，此时，与斜裂缝相交的受扭箍筋和受扭纵筋超过屈服强度或被拉断。最后，在另一长边上形成受压面，随着斜裂缝的开展，受压面混凝土被压碎而破坏。这种破坏与受剪的斜拉破坏相似，属于脆性破坏。在设计中应当避免。为了防止发生这种少筋破坏，规范规定，

受扭箍筋和纵向受扭钢筋的配筋率不得小于各自的最小配筋率，并应符合受扭钢筋的构造要求。

（2）适筋破坏。当构件受扭钢筋的数量配置适当时，在扭矩作用下，构件将发生许多45°角的斜裂缝。随着扭矩的增加，与主裂缝相交的受扭箍筋和纵向钢筋达到屈服强度，这条裂缝不断开展，并向相邻的两个面延伸，直至另一长边面上受压区的混凝土被压碎而破坏。这种破坏与受弯构件适筋梁相似，属于塑性破坏。受扭构件承载力计算即以这种破坏为依据。

（3）超筋破坏。当构件的受扭箍筋和受扭纵向钢筋配置过多时，在扭矩作用下，构件产生许多45°角的斜裂缝。由于受扭钢筋配置过多，构件破坏前钢筋达不到屈服强度，因而斜裂缝宽度不大。构件破坏是由于受压区混凝土被压碎引起的。这种破坏形态与受弯构件的超筋梁相似，属于脆性破坏，设计中应予避免。规范采取限制构件截面尺寸和混凝土强度等级，亦即限制受扭钢筋的最大配筋率来防止超筋破坏。

2. 矩形截面纯扭构件承载力计算

试验表明，构件受扭承载力由混凝土和受扭钢筋两部分的承载力组成。规范规定，矩形截面纯扭构件承载力计算公式为：

$$T \leqslant 0.35 f_t W_t + 1.2\sqrt{\zeta} f_{yv} \frac{A_{stl} A_{cor}}{s} \tag{11-82}$$

$$\zeta = \frac{f_y A_{stl}/u_{cor}}{f_{yv} A_{st1}/s} = \frac{f_y A_{stl} s}{f_{yv} A_{st1} u_{cor}} \tag{11-83}$$

式中 ζ——受扭构件纵向钢筋与箍筋的配筋强度比值（亦称纵箍比）。《混凝土规范》规定，纯扭构件 ζ 值应符合 $0.6 \leqslant \zeta \leqslant 1.7$ 的要求，一般可取 $\zeta=1.20$，当 $\zeta>1.7$ 时，取 $\zeta=1.7$；

T——扭矩设计值；

f_t——混凝土抗拉强度设计值；

W_t——截面受扭塑性抵抗矩，对矩形截面 $W_t = \frac{b^2}{6}(3h-b)$；

f_{yv}——受扭箍筋抗拉强度设计值，按《混凝土规范》表4.2.3-1中的 f_y 值采用；

A_{st1}——受扭计算中沿截面周边所配置箍筋的单肢截面面积；

A_{stl}——受扭计算中取对称布置的全部纵向钢筋截面面积；

s——受扭箍筋的间距；

A_{cor}——截面核心部分的面积，$A_{cor}=b_{cor}\times h_{cor}$，此处，$b_{cor}$ 和 h_{cor} 分别为从箍筋内表面范围内截面核心部分的短边和长边的尺寸；

u_{cor}——截面核心部分的周长：$u_{cor}=2(b_{cor}+h_{cor})$。

（二）T形和工字形截面纯扭构件的受扭承载力的计算

当纯扭构件的截面为T形或工字形时，受扭承载力可按下列原则计算。

1. 截面受扭塑性抵抗矩的计算

对于T形和工字形截面，可以取各个矩形分块的受扭塑性抵抗矩之和作为整个截面的受扭抵抗矩 W_t。

如图11-29所示，可划分为图示的三个矩形截面后，分别计算腹板、受压区翼缘和受

拉区翼缘截面的受扭塑性抵抗矩（W_{tw}、W'_{tf}、W_{tf}），然后相加。

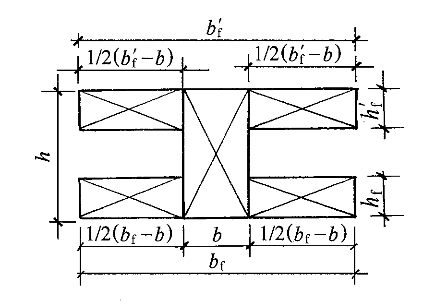


图 11-29　工字形截面的分块

腹板截面的受扭塑性抵抗矩为：

$$W_{tw}=\frac{b^2}{6}(3h-b) \qquad (11\text{-}84)$$

受压区翼缘的受扭塑性抵抗矩为：

$$W'_{tf}=\frac{h'^2_f}{2}(b'_f-b) \qquad (11\text{-}85)$$

受拉区翼缘的受扭塑性抵抗矩为：

$$W_{tf}=\frac{h^2_f}{2}(b_f-b) \qquad (11\text{-}86)$$

于是，全截面的受扭塑性抵抗矩为：

$$W_t=W_{tw}+W'_{tf}+W_{tf} \qquad (11\text{-}87)$$

当T形或工字形截面的翼缘较宽时，计算时取翼缘宽度每侧不应大于板厚的6倍，亦即尚应符合下列规定：

$$\left.\begin{aligned}b'_f&\leqslant b+6h'_f\\ b_f&\leqslant b+6h_f\end{aligned}\right\} \qquad (11\text{-}88)$$

式中　h——截面高度；

b——腹板宽度；

h'_f、h_f——截面受压区、受拉区的翼缘高度；

b'_f、b_f——截面受压区、受拉区的翼缘宽度。

在对T形或工字形截面进行分块划分时，应遵循保持腹板完整性原则，即图11-30（*a*）、（*b*）是正确的，而图11-30（*c*）、（*d*）、（*e*）、（*f*）是错误的。

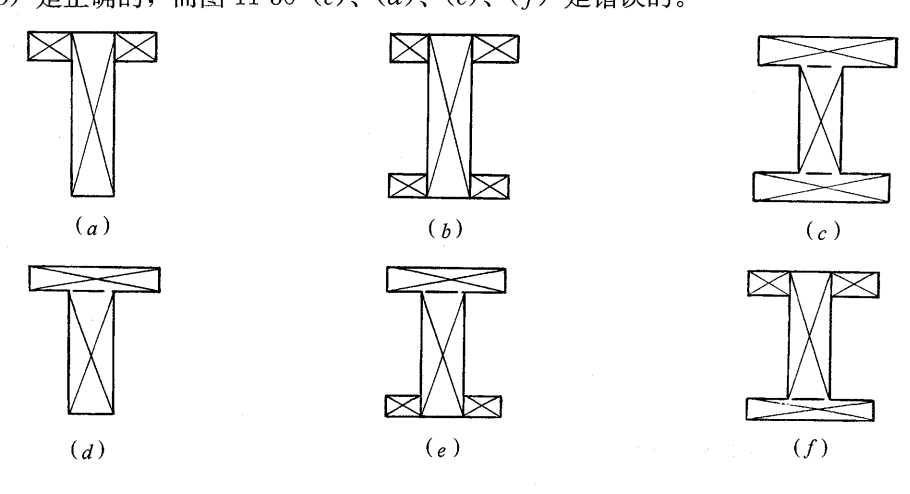


图 11-30

2. 各矩形分块截面扭矩设计值的分配原则

T形和工字形截面承受的总扭矩，按各矩形分块截面的受扭塑性抵抗矩与全截面的受扭塑性抵抗矩 W_t 的比值进行分配。腹板、受压翼缘和受拉翼缘承受的扭矩可按下式求得：

$$腹板：T_w=\frac{W_{tw}}{W_t}T \qquad (11\text{-}89)$$

$$受压翼缘：T'_f = \frac{W'_{tf}}{W_t}T \tag{11-90}$$

$$受拉翼缘：T_f = \frac{W_{tf}}{W_t}T \tag{11-91}$$

式中 T——T形和工字形截面所承受的扭矩设计值；

T_w——腹板所承受的扭矩设计值；

T'_f、T_f——受压翼缘、受拉翼缘所承受的扭矩设计值。

3. 受扭承载力的计算

求得各矩形分块截面所承受的扭矩设计值后，即可分别按公式（11-82）进行各矩形分块截面的受扭承载力计算。

由于在分块计算时，没有考虑各矩形分块截面之间的连接，因此，所求得的T形和工字形截面受扭塑性抵抗矩值略为偏低，因而，受扭承载力计算偏于安全。

（三）复合受扭构件承载力的计算

在弯矩、剪力和扭矩共同作用下的矩形、T形、I形和箱形截面的弯剪扭构件，可按下列规定进行承载力计算：

1. 当V不大于$0.35f_tbh_0$或V不大于$0.875f_tbh_0/(\lambda+1)$时，可仅计算受弯构件的正截面受弯承载力和纯扭构件的受扭承载力。

2. 当T不大于$0.175f_tW_t$或T不大于$0.175\alpha_hf_tW_t$时，可仅验算受弯构件的正截面受弯承载力和斜截面受剪承载力。

规范规定，对弯扭构件的计算采用简单的叠加法，即分别按纯扭承载力公式计算所需的受扭纵筋和箍筋，按受弯公式求出所需的受弯纵筋，加以叠加就得所需的全部纵筋和箍筋。对T形、工形和L形截面的弯扭构件，计算方法与矩形截面相同，只是受扭计算部分按划分的矩形分块分别进行。

对于弯剪扭共同作用的构件，规范中规定关于纵筋和箍筋的设置基本上采用分别计算、然后叠加的处理办法。但需考虑到构件承受各种内力能力（剪力、扭矩）之间的相关性。规范是通过强度降低系数β_t来考虑剪扭构件混凝土抵抗剪力和扭矩的相关性的。

$$\beta_t = \frac{1.5}{1+0.5\dfrac{VW_t}{Tbh_0}} \tag{11-92}$$

由此得到扭矩和剪力共同作用下的受剪和受扭承载力计算公式分别为：

$$V \leqslant 0.7(1.5-\beta_t)f_tbh_0 + f_{yv}\frac{A_{sv}}{s}h_0 \tag{11-93}$$

$$T \leqslant 0.35\alpha_h\beta_tf_tW_t + 1.2\sqrt{\zeta}f_{yv}\frac{A_{st1}A_{cor}}{s} \tag{11-94}$$

在弯矩、剪力和扭矩共同作用下，为了保证混凝土不首先破坏，规范规定了截面限制条件，详见《混凝土规范》第6.4.2条；同时，为了避免发生少筋破坏，规范还规定了剪扭构件的最小配筋率和构造要求。

（四）影响受扭构件承载力的因素分析

综上所述，影响受扭构件承载力的因素有：截面形状和尺寸、混凝土强度等级、箍筋的直径和间距、纵向钢筋的截面面积（沿构件周边的全部纵向钢筋）、纵箍比等。在截面

面积相等的条件下，采用圆形截面（特别是环形截面）优于方形、矩形截面，而薄而高的截面是不利的。

第三节 正常使用极限状态验算

钢筋混凝土构件，除了有可能由于承载力不足超过承载能力极限状态外，还有可能由于变形过大或裂缝宽度超过允许值，使构件超过正常使用极限状态而影响正常使用。因此规范规定，根据使用要求，构件除进行承载力计算外，尚需进行正常使用极限状态即变形及裂缝宽度的验算。

一、正常使用极限状态的验算及耐久性的规定

（一）对于正常使用极限状态，结构构件应分别按荷载效应的标准组合、准永久组合或标准组合并考虑长期作用影响，采用下列极限状态设计表达式：

$$S \leqslant C \tag{11-95}$$

式中 S——正常使用极限状态的荷载效应组合值；

C——结构构件达到正常使用要求所规定的变形、裂缝宽度和应力等的限值。

荷载效应的标准组合和准永久组合应按《荷载规范》的规定进行计算。

（二）受弯构件的最大挠度应按荷载效应的标准组合并考虑荷载长期作用影响进行计算，其计算值不应超过表 11-11 规定的挠度限值。

受弯构件的挠度限值 **表 11-11**

构件类型	挠度限值
吊车梁：手动吊车	$l_0/500$
电动吊车	$l_0/600$
屋盖、楼盖及楼梯构件：	
当 $l_0<7$m 时	$l_0/200$（$l_0/250$）
当 7m$\leqslant l_0 \leqslant$9m 时	$l_0/250$（$l_0/300$）
当 $l_0>9$m 时	$l_0/300$（$l_0/400$）

注：1. 表中 l_0 为构件的计算跨度，计算悬臂构件的挠度限值时，其计算跨度 l_0 按实际悬臂长度的 2 倍取用；
2. 表中括号内的数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件；
3. 如果构件制作时预先起拱，且使用上也允许，则在验算挠度时，可将计算所得的挠度值减去起拱值；对预应力混凝土构件，尚可减去预加力所产生的反拱值；
4. 构件制作时的起拱值和预加力所产生的反拱值，不宜超过构件在相应荷载组合作用下的计算挠度值。

（三）结构构件正截面的裂缝控制等级分为三级。裂缝控制等级的划分应符合下列规定：

一级——严格要求不出现裂缝的构件，按荷载效应标准组合计算时，构件受拉边缘混凝土不应产生拉应力；

二级——一般要求不出现裂缝的构件，按荷载效应标准组合计算时，构件受拉边缘混凝土拉应力不应大于混凝土轴心抗拉强度标准值；按荷载效应准永久组合计算时，构件受拉边缘混凝土不宜产生拉应力，当有可靠经验时可适当放松；

三级——允许出现裂缝的构件，按荷载效应标准组合并考虑长期作用影响计算时，构

件的最大裂缝宽度不应超过表 11-12 规定的最大裂缝宽度限值。一般工业与民用建筑结构构件均属于三级。

（四）结构构件应根据结构类别和表 11-13 规定的环境类别，按表 11-12 的规定选用不同的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值 w_{lim}。

（五）混凝土结构的耐久性应根据表 11-13 的环境类别的设计使用年限进行设计。

（六）设计使用年限为 50 年的混凝土结构，其混凝土材料宜符合表 11-14 的规定。

结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度的限值（mm）　　**表 11-12**

<table>
<tr><th rowspan="2">环境类别</th><th colspan="2">钢筋混凝土结构</th><th colspan="2">预应力混凝土结构</th></tr>
<tr><th>裂缝控制等级</th><th>w_{lim}</th><th>裂缝控制等级</th><th>w_{lim}</th></tr>
<tr><td>一</td><td rowspan="4">三级</td><td>0.30（0.40）</td><td rowspan="2">三级</td><td>0.20</td></tr>
<tr><td>二 a</td><td rowspan="3">0.20</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td>二 b</td><td>二级</td><td>—</td></tr>
<tr><td>三 a、三 b</td><td>一级</td><td>—</td></tr>
</table>

注：1. 对处于年平均相对湿度小于 60%地区一类环境下的受弯构件，其最大裂缝宽度限值可采用括号内的数值；
2. 在一类环境下，对钢筋混凝土屋架、托架及需作疲劳验算的吊车梁，其最大裂缝宽度限值应取为 0.20mm；对钢筋混凝土屋面梁和托梁，其最大裂缝宽度限值应取为 0.30mm；
3. 在一类环境下，对预应力混凝土屋架、托架及双向板体系，应按二级裂缝控制等级进行验算；对一类环境下的预应力混凝土屋面梁、托梁、单向板，应按表中二 a 级环境的要求进行验算；在一类和二 a 类环境下需作疲劳验算的预应力混凝土吊车梁，应按裂缝控制等级不低于二级的构件进行验算；
4. 表中规定的预应力混凝土构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值仅适用于正截面的验算；预应力混凝土构件的斜截面裂缝控制验算应符合《混凝土规范》第 7 章的有关规定；
5. 对于烟囱、筒仓和处于液体压力下的结构，其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定；
6. 对于处于四、五类环境下的结构构件，其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定；
7. 表中的最大裂缝宽度限值为用于验算荷载作用引起的最大裂缝宽度。

混凝土结构的环境类别　　**表 11-13**

环境类别	条　件
一	室内干燥环境； 无侵蚀性静水浸没环境
二 a	室内潮湿环境； 非严寒和非寒冷地区的露天环境； 非严寒和非寒冷地区与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境； 严寒和寒冷地区的冰冻线以下与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
二 b	干湿交替环境； 水位频繁变动环境； 严寒和寒冷地区的露天环境； 严寒和寒冷地区冰冻线以上与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
三 a	严寒和寒冷地区冬季水位变动区环境； 受除冰盐影响环境； 海风环境
三 b	盐渍土环境； 受除冰盐作用环境； 海岸环境
四	海水环境
五	受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境

注：1. 室内潮湿环境是指构件表面经常处于结露或湿润状态的环境；
2. 严寒和寒冷地区的划分应符合现行国家标准《民用建筑热工设计规范》（GB 50176）的有关规定；
3. 海岸环境和海风环境宜根据当地情况，考虑主导风向及结构所处迎风、背风部位等因素的影响，由调查研究和工程经验确定；
4. 受除冰盐影响环境是指受到除冰盐盐雾影响的环境；受除冰盐作用环境是指被除冰盐溶液溅射的环境以及使用除冰盐地区的洗车房、停车楼等建筑；
5. 暴露的环境是指混凝土结构表面所处的环境。

结构混凝土材料的耐久性基本要求 **表 11-14**

环境等级	最大水胶比	最低强度等级	最大氯离子含量（%）	最大碱含量（kg/m^3）
一	0.60	C20	0.30	不限值
二 a	0.55	C25	0.20	3.0
二 b	0.50（0.55）	C30（C25）	0.15	
三 a	0.45（0.50）	C35（C30）	0.15	
三 b	0.40	C40	0.10	

注：1. 氯离子含量系指其占胶凝材料总量的百分比；
2. 预应力构件混凝土中的最大氯离子含量为 0.06%；其最低混凝土强度等级宜按表中的规定提高两个等级；
3. 素混凝土构件的水胶比及最低强度等级的要求可适当放松；
4. 有可靠工程经验时，二类环境中的最低混凝土强度等级可降低一个等级；
5. 处于严寒和寒冷地区二 b、三 a 类环境中的混凝土应使用引气剂，并可采用括号中的有关参数；
6. 当使用非碱活性骨料时，对混凝土中的碱含量可不作限制。

（七）一类环境中，设计使用年限为 100 年的混凝土结构应符合下列规定：

1. 钢筋混凝土结构的最低混凝土强度等级为 C30；预应力混凝土结构的最低混凝土强度等级为 C40；

2. 混凝土中的最大氯离子含量为 0.06%；

3. 宜使用非碱活性骨料；当使用碱活性骨料时，混凝土中的最大碱含量为 $3.0kg/m^3$；

4. 混凝土保护层厚度应符合《混凝土规范》第 8.2.1 条的规定；当采取有效的表面防护措施时，混凝土保护层厚度可适当减小。

（八）二类和三类环境中，设计使用年限为 100 年的混凝土结构，应采取专门有效措施。

（九）耐久性环境类别为四类和五类的混凝土结构，其耐久性要求应符合有关标准的规定。

二、受弯构件挠度的验算

（一）挠度与刚度

在材料力学对匀质材料梁的变形计算中，给出了简支梁在均布荷载 q 作用下的跨中挠度为：

$$f=\frac{5}{384}\frac{ql^4}{EI}=\frac{5}{48}\frac{Ml^2}{EI} \tag{11-96}$$

在简支梁跨度中点承受单个集中荷载 P 时，其挠度为：

$$f=\frac{1}{48}\frac{Pl^3}{EI}=\frac{1}{12}\frac{Ml^2}{EI} \tag{11-97}$$

式（11-96）和式（11-97）可统一写成：

$$f=\beta\frac{Ml^2}{EI} \tag{11-98}$$

式中 f ——梁的跨中最大挠度；

M ——跨中最大弯矩；

β ——挠度系数，与荷载形式及支承条件有关；

EI——梁的截面抗弯刚度；

l——梁的计算跨度。

从式（11-98）中可以看出，对于匀质弹性材料梁，当梁的截面尺寸、材料一定时，EI 为常数，其弯矩-挠度（M-f）呈线性关系，如图 11-31 中 0-A 虚线所示。而钢筋混凝土构件则不同，其实测的 M-f 曲线表明，只有在荷载很小梁尚未开裂时（阶段Ⅰ），M-f 线才是一段直线，从开始出现裂缝到钢筋屈服时（阶段Ⅱ），M-f 线开始偏离直线而逐渐向下弯曲，这说明构件刚度开始下降。但这时梁仍处于正常使用阶段。当继续加载时，受拉钢筋屈服（阶段Ⅲ），M-f 线更偏向横轴（f 轴），挠度值增长更快。上述现象说明，钢筋混凝土梁的刚度不是一个常数，而是随着荷载的增加而降低。从而，计算其变形问题就归结为计算它的抗弯问题了。梁的抗弯刚度也就分成短期刚度和长期刚度两种：短期刚度 B_s 表示在荷载短期效应作用下受弯构件截面的抗弯刚度；长期刚度 B 表示考虑了一部分荷载长期作用影响后截面的抗弯刚度。

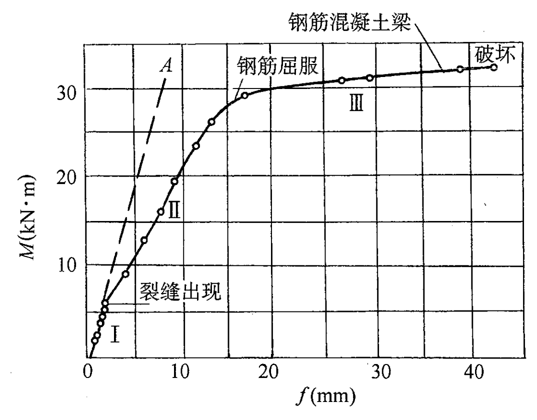


图 11-31　梁的弯矩-挠度曲线

（二）短期刚度 B_s

当截面开裂后，在荷载短期效应组合作用下，钢筋混凝土受弯构件的短期刚度可按下式计算：

$$B_s = \frac{E_s A_s h_0^2}{1.15\psi + 0.2\dfrac{6\alpha_E \rho}{1+3.5\gamma'_f}} \tag{11-99}$$

式中　E_s——纵向受拉钢筋的弹性模量；

A_s——纵向受拉钢筋的截面面积；

h_0——构件截面的有效高度；

ψ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数，按下式计算：

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te}\sigma_{sk}} \tag{11-100}$$

当计算出的 $\psi<0.2$ 时，取 $\psi=0.2$；若 $\psi>1.0$ 时，取 $\psi=1.0$；对直接承受重复荷载的构件，取 $\psi=1.0$；

α_E——钢筋与混凝土的弹性模量比值，$\alpha_E = \dfrac{E_s}{E_c}$；

ρ——纵向受拉钢筋配筋率；

γ'_f——系数，按下式计算；

$$\gamma'_f = \frac{(b'_f - b)h'_f}{b h_0} \tag{11-101}$$

f_{tk}——混凝土轴心抗拉强度标准值；

ρ_{te}——按截面的有效受拉混凝土面积 A_{te} 计算的纵向钢筋配筋率，即

$$\rho_{te}=\frac{A_s}{A_{te}}=\frac{A_s}{0.5bh+(b_f-b)h'_f} \tag{11-102}$$

A_{te}——有效受拉混凝土截面面积。

如图 11-32，当计算出的 $\rho_{te}<0.01$ 时，取 $\rho_{te}=0.01$；

σ_{sk}——按荷载效应的标准组合计算的钢筋混凝土构件纵向受拉钢筋的应力，对受弯构件，$\sigma_{sk}=\frac{M_k}{0.87h_0A_s}$，$M_k$ 为按荷载效应的标准组合计算的弯矩值。

式中　b'_f、h'_f——受压区翼缘的宽度和高度。

从上述可看出，影响短期刚度 B_s 的主要因素有构件的配筋率 ρ 和承受的弯矩值 M_s。

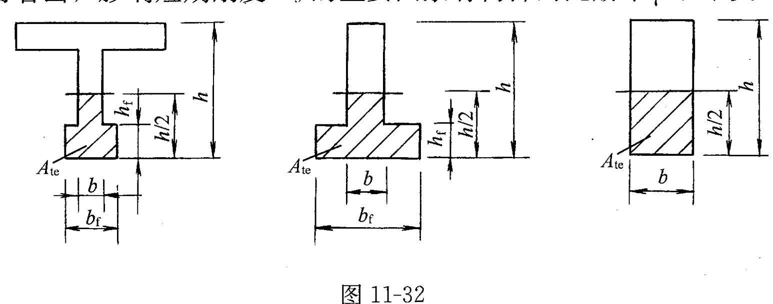


图 11-32

（三）长期刚度 B

考虑一部分荷载长期作用影响后的长期刚度 B 的计算公式为：

$$B=\frac{M_k}{M_q(\theta-1)+M_k}B_s \tag{11-103}$$

式中　M_k——按荷载效应的标准组合计算的弯矩，取计算区段内的最大弯矩值；

M_q——按荷载效应的准永久组合计算的弯矩，取计算区段内的最大弯矩值；

θ——考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数，按下列规定取用：

对钢筋混凝土受弯构件，当 $\rho'=0$ 时，取 $\theta=2.0$；当 $\rho'=\rho$ 时，取 $\theta=1.6$；当 ρ' 为中间取值时，θ 按线性内插法取用。此处，ρ、ρ'——纵向受拉钢筋和受压钢筋的配筋率。$\rho'=A'_s/bh_0$，$\rho=A_s/bh_0$。

对翼缘位于受拉区的倒 T 形截面，θ 应增加 20%。

长期刚度 B 求出后，即可按材料力学公式，式（11-96）～式（11-98）求出受弯构件的挠度。

（四）受弯构件挠度验算

从以上分析中可看出，钢筋混凝土梁某一截面的刚度不仅随荷载的增加而变化，并且在某一荷载作用下，由于梁内各截面的弯矩不同而变化，因此截面的抗弯刚度沿梁长也是变化的。弯矩大的截面抗弯刚度小，反之，弯矩小的截面抗弯刚度大。为了简化计算，规范建议，取同号弯矩区段内弯矩最大的截面的刚度作为该区段的抗弯刚度，这种处理方法所算出的抗弯刚度值最小，故通常称为“最小刚度原则”。

受弯刚度确定后，即可按照材料力学公式来计算钢筋混凝土受弯构件的挠度。

当计算结果不能满足式（11-96）～式（11-98）的要求时，说明受弯构件的刚度不足。可以采用增加截面高度、提高混凝土强度等级，增加配筋等办法解决。其中以增加梁的截面高度效果最为显著，宜优先采用。

三、裂缝的形成、控制和宽度验算

（一）裂缝的形成和开展

引起钢筋混凝土结构产生裂缝的原因很多，主要因素有：荷载效应、外加变形和约束变形、钢筋锈蚀等。

1. 由荷载效应（如弯矩、剪力、扭矩及拉力等）的直接作用引起的裂缝，其宽度与穿越裂缝的钢筋应力 σ_s 近乎成正比。如使用荷载下 σ_s 不高，构件的裂缝宽度很小，但随着钢筋应力的增大，裂缝控制越来越应给予重视。

2. 由外加变形或约束变形引起的裂缝，一般是由于基础的不均匀沉降、混凝土的收缩变形及温度变化等因素而产生的。约束变形越大，裂缝宽度也越大。如梁、板与刚度较大的构件相连系产生外部约束，或构件截面由于超配筋产生内部约束，收缩使混凝土受拉导致开裂；温差引起裂缝，如新老混凝土的叠合面处，由于新浇注混凝土的水化热与已经冷却的老混凝土构件的温差产生的裂缝；又如烟囱由于内外表面温度梯度较大，使烟囱外表面形成垂直裂缝。

3. 由于保护层混凝土的碳化，或冬期施工中掺氯盐过多会导致钢筋锈蚀，锈蚀产生的体积比钢筋被侵蚀的体积大 2～3 倍，从而使外围混凝土产生相当大的拉应力，引起沿钢筋纵向长度的纵向裂缝。

在合理设计和正常施工的条件下，荷载效应的直接作用往往不是形成裂缝宽度过大的主要原因，许多裂缝是几种因素综合的结果，其中温度与收缩是裂缝出现和发展的主要因素。

一般情况下，可以通过下列措施来避免裂缝的产生，如：合理地设置温度缝来避免或减少温度裂缝的出现；通过设置沉降缝、选择刚度大的基础类型、做好地基持力层的选择和验槽处理工作，来防止或减少由于不均匀沉降引起的沉降裂缝；通过保证混凝土保护层的厚度来防止纵向钢筋锈蚀，以免引起沿钢筋长度方向的纵向裂缝；通过布置构造钢筋（如梁中的腰筋和板、墙中的分布钢筋）来避免收缩裂缝。

影响裂缝宽度的主要因素有：

（1）钢筋应力；

（2）钢筋与混凝土之间的黏结强度；

（3）钢筋的有效约束区：通过黏结力将拉力扩散到混凝土上去，能有效地约束混凝土回缩的区域，称为钢筋的有效约束区，或称钢筋的有效埋置区。在设计中，采用较小直径钢筋，沿截面受拉区外缘以不大的间距均匀布置，使裂缝分散和裂缝宽度减小，就是利用了约束区的概念；

（4）混凝土保护层的厚度。

（二）控制裂缝宽度的构造措施

1. 对跨中垂直裂缝的控制

当梁的腹板高度 $h_w \geqslant 450\text{mm}$ 时，在梁的两侧应沿高度设置纵向构造钢筋，每侧纵向构造钢筋的截面面积不应小于腹板截面面积 bh_w 的 0.1%，间距不宜大于 200mm。

2. 对斜裂缝的控制

为了减小斜裂缝的宽度，要求每一条斜裂缝至少有一根箍筋通过，当剪力较大时至少有 2 根箍筋通过。因此，箍筋的布置应本着“细而密”的原则。《混凝土规范》表 10.2.10 中，在 $V > 0.7f_tbh_0$ 一栏对构件出现裂缝后箍筋的最大间距 S_{max} 作了规定。实验

资料分析表明，箍筋配置如能满足受剪承载力的要求，又能满足 S_{max} 的构造规定，则同时可以满足在使用阶段下裂缝宽度不大于 0.2mm 的要求。

3. 对节点边缘垂直裂缝宽度的控制

满足受拉纵筋的水平锚固长度是控制节点边缘垂直裂缝宽度的有效措施。

图 11-33 表示中间层框架梁的端节点，上部纵向受拉钢筋锚入节点的锚固长度分水平段和垂直段两部分。水平段的钢筋与混凝土之间的黏结力是很大的，若水平段过短，会出现黏结破坏。水平段钢筋在拉力作用下产生的伸长变形，将引起节点边缘的垂直裂缝宽度过大，因此，规范规定水平段长度不能小于 $0.4l_a$。由于垂直长度的存在，受拉钢筋一般不会发生被拔出的现象。

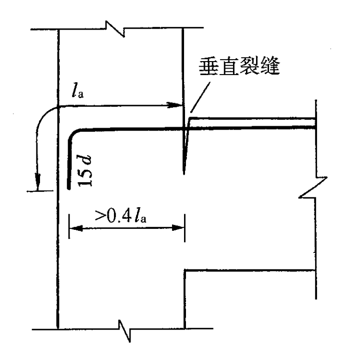


图 11-33　梁上部纵向受拉钢筋在框架中间层端节点内的锚固

（三）最大裂缝宽度 w_{max} 的计算

规范给出了最大裂缝宽度 w_{max} 按下式计算：

$$w_{max} = \alpha_{cr}\psi \frac{\sigma_s}{E_s}\left(1.9c_s + 0.08\frac{d_{eq}}{\rho_{te}}\right) \tag{11-104}$$

式中　α_{cr}——构件受力特征系数：

对轴心受拉构件，取 $\alpha_{cr}=2.7$；

对偏心受拉构件，取 $\alpha_{cr}=2.4$；

对受弯和偏心受压构件，取 $\alpha_{cr}=2.1$；

ψ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数：

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65f_{tk}}{\rho_{te}\sigma_{sk}} \tag{11-105}$$

当 $\psi < 0.2$ 时，取 $\psi = 0.2$；

当 $\psi>1.0$ 时，取 $\psi=1.0$；对直接承受重复荷载的构件，取 $\psi=1.0$；

f_{tk}——混凝土抗拉强度标准值；

ρ_{te}——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率：

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} \tag{11-106}$$

在最大裂缝宽度计算中，当 $\rho_{te}<0.01$ 时，取 $\rho_{te}=0.01$。

A_{te}——有效受拉混凝土截面面积，按下列规定取用：

对轴心受拉构件，A_{te} 取构件截面面积；对受弯、偏心受压和偏心受拉构件，取

$$A_{te} = 0.5bh + (b_f - b)h_f \tag{11-107}$$

b_f、h_f 为受拉翼缘的宽度和高度。

σ_s——按荷载效应的准永久组合计算的钢筋混凝土构件纵向受拉普通钢筋的应力或按标准组合计算的预应力混凝土构件纵向受拉钢筋等效应力，对受弯构件，按下式计算：

$$\sigma_{sq}=\frac{M_q}{0.87h_0A_s} \tag{11-108}$$

A_s——受拉区纵向钢筋截面面积；对轴心受拉构件，取全部纵向钢筋截面面积；对偏心受拉构件，取受拉较大边的纵向钢筋截面面积；对受弯、偏心受压构件，取受拉区纵向钢筋截面面积；

E_s——钢筋弹性模量（N/mm^2）；

c_s——最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底边的距离（mm），当 $c_s<20$ 时，取 $c_s=20$；当 $c_s>65$ 时，取 $c_s=65$；

d_{eq}——受拉区纵向钢筋的等效直径（mm）。$d_{eq}=\frac{\Sigma n_i d_i^2}{\Sigma n_i \gamma_i d_i}$ （11-109）

注：n_i 为受拉区第 i 种纵向钢筋的根数；γ_i 为受拉区第 i 种纵向钢筋的相对黏结特性系数，见《混凝土规范》表 7.1.2-2。

最大裂缝宽度应满足公式（11-104）的要求。

应该注意的是：一般情况下，钢筋混凝土构件总是在带有裂缝的情况下工作的，也就是说，除特殊不允许出现裂缝的情况外，钢筋混凝土构件是允许出现裂缝的，只是对裂缝最大宽度加以限制：对处于室内正常环境下工作的一类环境构件，最大裂缝宽度允许值$[w]=0.3$mm；对处于露天或室内潮湿环境、滨海室外等二、三类环境条件下，或一类环境中的预应力混凝土结构，最大裂缝宽度允许值$[w]=0.2$mm；对处于年平均相对湿度小于 60%地区一类环境的受弯构件，其最大裂缝宽度允许值可放宽到$[w]=0.4$mm。

有关裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值见表 11-12。

例 11-2 （2010）采用哪一种措施可以减小普通钢筋混凝土简支梁裂缝的宽度？

A 增加箍筋的数量 B 增加底部主筋的直径

C 减小底部主筋的直径 D 增加顶部构造钢筋

提示：根据《混凝土规范》第 7.1.2 条式 7.1.2-1，钢筋的粗细对混凝土裂缝宽度有影响。当钢筋横截面积相同时，钢筋越细，与混凝土接触的表面积就越大，粘结性能就越好，裂缝间距就越小，裂缝宽度也越小。

由混凝土最大裂缝宽度计算公式（11-104）也可以分析出两者之间的关系，即当简支梁底部主筋直径 d_{eq} 减小时，ω_{max} 将减小，因此答案应为 C。

答案：C

第四节 构 造 规 定

一、伸缩缝

（一）设置伸缩缝的目的

伸缩缝的设置，是为了防止温度变化和混凝土收缩而引起结构过大的附加内应力，从而避免当受拉的内应力超过混凝土的抗拉强度时引起结构产生裂缝。

温度变化包括大气温度发生变化和太阳辐射使结构各部位的温度变化不同，从而导致温差内应力。对超静定结构来说，即使结构各部位间的温差很小，但温度变化引起构件伸缩也会引起内应力。温度变化越大，结构或构件越长，产生的变形和引起的内应力也越

大。一般来说，温度应力主要集中在结构的顶部和底部，顶部主要由屋盖和建筑物内部的温差引起，底部则因地基和建筑物温度的不同引起。

混凝土收缩是指在混凝土硬化过程中因体积减小而引起收缩，从而使超静定结构构件的变形被约束而引起收缩拉应力，当拉应力超过混凝土的抗拉强度时，就会产生裂缝。

（二）钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距

设计中为了控制结构物的裂缝，其中一个重要的措施就是用温度伸缩缝将过长的建筑物分成几个部分，使每一个部分的长度不超过规范规定的伸缩缝最大间距要求。《混凝土规范》给出了钢筋混凝土结构伸缩缝的最大间距，见表 11-15。

钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距（m） **表 11-15**

结构类别	室内或土中		露天
排架结构	装配式	100	70
框架结构	装配式	75	50
	现浇式	55	35
剪力墙结构	装配式	65	40
	现浇式	45	30
挡土墙、地下室墙壁等类结构	装配式	40	30
	现浇式	30	20

注：1. 装配整体式结构房屋的伸缩缝间距，可根据结构的具体情况取表中装配式结构与现浇式结构之间的数值；

2. 框架-剪力墙结构或框架-核心筒结构房屋的伸缩缝间距可根据结构的具体布置情况取表中框架结构与剪力墙结构之间的数值；

3. 当屋面无保温或隔热措施时，框架结构、剪力墙结构的伸缩缝间距宜按表中露天栏的数值取用；

4. 现浇挑檐、雨罩等外露结构的伸缩缝间距不宜大于 12m。

从表中可以看出，在确定伸缩缝最大间距时，主要考虑的因素有以下几点：

1. 要区别结构构件工作环境是在室内（或土中）还是在露天。对于直接暴露在大气中的结构，由于气温变化明显，会产生较大的伸缩，因而比起围护在室内或埋在地下的结构来说，温度应力要大得多。因此，对前者伸缩缝最大间距的限制比后者要严，也就是说，前者比后者的限值要小。

2. 要区别结构体系和结构构件的类别。结构物是由许多构件组成的，每个构件受到周围构件的约束，同时也约束周围的构件。排架结构比框架结构、框架结构比剪力墙结构的刚度小，因而引起的内应力较小。因此，伸缩缝最大间距的限值也呈递减的趋势。另外，对于挡土墙、地下室墙壁等体形大的结构，由于混凝土体积也大，故由温度和收缩引起的变形和内应力积聚也大得多，往往容易引起裂缝，因而将其伸缩缝最大间距的限值也更严。

3. 要区别是装配式结构或整体现浇式结构。由于混凝土收缩早期较大，后期逐渐减小。装配式结构预制构件的收缩变形大部分在吊装前即已完成，装配成整体后因收缩引起的内应力就比现浇结构要小。因此，对同一种结构体系和构件类别来说，由于施工方法的不同，对整体现浇式结构最大伸缩缝间距的限值要比装配式结构严。

4. 规范表中数值不是绝对的，使用时可根据具体条件适当调整。例如对于屋面无保温隔热措施的结构、外墙装配内墙现浇或采用滑模施工的剪力墙结构、位于气候干燥地区及夏季炎热且暴雨频繁地区的结构或经常处于高温环境下的结构，均应根据实践经验适当

减小伸缩缝的间距。

5. 从表中可看出，在确定伸缩缝最大间距时，未考虑地域和气候条件。我国各地区气候相差虽然悬殊，但在一般情况下，温差的变化对结构应力的影响差别并不很大。因此，未把地域和气候条件作为一个因素来考虑。

（三）伸缩缝的做法

1. 当建筑物需设沉降缝、防震缝时，沉降缝、防震缝可以和伸缩缝合并，但伸缩缝的宽度应满足防震缝宽度的要求。

要注意 4 缝（伸缩缝、沉降缝、防震缝、后浇带）的做法和功能的兼容性。

2. 根据《混凝土规范》第 8.1.4 条规定，当设置伸缩缝时，排架、框架结构的双柱基础可不断开。这是由于考虑到位于地下的结构处在温度变化不大的环境中的缘故。

（四）控制结构裂缝的构造措施和施工措施

为了控制结构裂缝，增大伸缩缝的间距，可采取以下一些措施：

1. 在建筑物的屋盖加强保温措施，如采用加大屋面隔热保温层的厚度、设置架空通风双层屋面等。

2. 将结构顶层局部改变为刚度较小的形式，或将顶层结构分成长度较小的几个部分（如在顶层部位，将下层剪力墙分成两道较薄的墙）。

3. 在温度影响较大的部位（如顶层、底层、山墙、内纵墙端开间）适当提高构件的配筋率。在满足构件承载力的要求下，采用直径细而间距密的钢筋，避免采用直径粗而间距稀的配筋形式。适当增加分布钢筋的用量。

4. 对现浇结构可采用分段施工。在施工中设置后浇带（在基础、楼板、墙等构件中），使在施工中混凝土可以自由收缩，待主体结构完工后再用比主体结构高一级的掺有添加剂的混凝土补浇后浇带。

5. 改善混凝土的质量，施工中加强养护，可减少干缩的影响。

二、混凝土保护层

构件中普通钢筋及预应力筋的混凝土保护层厚度指构件最外层钢筋（包括箍筋、构造钢筋、分布筋等）的外缘至混凝土表面的距离，应满足下列要求：

（一）构件中受力钢筋的保护层厚度不应小于钢筋的公称直径 d。

（二）设计使用年限为 50 年的混凝土结构，最外层钢筋的保护层厚度应符合表 11-16 的规定；设计使用年限为 100 年的混凝土结构，最外层钢筋的保护层厚度不应小于表 11-16 中数值的 1.4 倍。

混凝土保护层的最小厚度 c_s（mm） **表 11-16**

环境类别	板、墙、壳	梁、柱、杆
一	15	20
二 a	20	25
二 b	25	35
三 a	30	40
三 b	40	50

注：1. 混凝土强度等级不大于 C25 时，表中保护层厚度数值应增加 5mm；

2. 钢筋混凝土基础宜设置混凝土垫层，基础中钢筋的混凝土保护层厚度应从垫层顶面算起，且不应小于 40mm。

（三）当有充分依据并采取下列措施时，可适当减小混凝土保护层的厚度。

1. 构件表面有可靠的防护层；

2. 采用工厂化生产的预制构件；

3. 在混凝土中掺加阻锈剂或采用阴极保护处理等防锈措施；

4. 当对地下室墙体采取可靠的建筑防水做法或防护措施时，与土层接触一侧钢筋的保护层厚度可适当减少，但不应小于 25mm。

（四）当梁、柱、墙中纵向受力钢筋的保护层厚度大于 50mm 时，宜对保护层采取有效的构造措施。当在保护层内配置防裂、防剥落的钢筋网片时，网片钢筋的保护层厚度不应小于 25mm。

三、钢筋的锚固

（一）钢筋与混凝土的黏结

钢筋与混凝土之间的黏结力，主要由三部分组成：

1. 钢筋与混凝土接触面由于化学作用产生的黏结力；

2. 由于混凝土硬化时收缩，对钢筋产生握裹作用。由于握裹作用及钢筋表面粗糙不平，在接触面上引起摩阻力；

3. 对光圆钢筋，由于其表面粗糙不平产生咬合力；对带肋钢筋，由于带肋钢筋肋间嵌入混凝土而形成的机械咬合作用。

综上所述，光圆钢筋和带肋钢筋黏结机理的主要差别在于，光圆钢筋黏结力主要来自胶着力和摩阻力，而带肋钢筋的黏结力主要来自机械咬合作用。

（二）钢筋锚固长度

1. 影响黏结强度的因素

（1）混凝土的强度。黏结强度随混凝土强度的提高而提高，与混凝土的抗拉强度近似成正比。

（2）保护层厚度、钢筋间距。保护层太薄、钢筋间距太小，将使黏结强度显著降低。

（3）钢筋表面形状。带肋钢筋黏结强度大于光圆钢筋。

（4）横向钢筋。如梁中配置的钢箍可以提高黏结强度。

2. 锚固长度

（1）当计算中充分利用钢筋的抗拉强度时，受拉钢筋的锚固应符合下列要求：

1）基本锚固长度应按下列公式计算：

普通钢筋

$$l_{ab} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d \tag{11-110}$$

预应力筋

$$l_{ab} = \alpha \frac{f_{py}}{f_t} d \tag{11-111}$$

式中 l_{ab}——受拉钢筋的基本锚固长度；

f_y、f_{py}——普通钢筋、预应力筋的抗拉强度设计值；

f_t——混凝土轴心抗拉强度设计值，当混凝土强度等级高于 C60 时，按 C60 取值；

d——锚固钢筋的直径；

α——锚固钢筋的外形系数，按表 11-17 取用。

锚固钢筋的外形系数 α **表 11-17**

钢筋类型	光圆钢筋	带肋钢筋	螺旋肋钢丝	三股钢绞线	七股钢绞线
α	0.16	0.14	0.13	0.16	0.17

注：光圆钢筋末端应做 180°弯钩，弯后平直段长度不应小于 $3d$，但作受压钢筋时可不做弯钩。

2）受拉钢筋的锚固长度应根据锚固条件按下列公式计算，且不应小于 200mm；

$$l_a = \zeta_a l_{ab} \tag{11-112}$$

式中 l_a——受拉钢筋的锚固长度；

ζ_a——锚固长度修正系数，对普通钢筋按《混凝土规范》第 8.3.2 条的规定取用，当多于一项时，可按连乘计算，但不应小于 0.6；对预应力筋，可取 1.0。

梁柱节点中纵向受拉钢筋的锚固要求应按《混凝土规范》第 9.3 节（Ⅱ）中的规定执行。

3）当锚固钢筋的保护层厚度不大于 $5d$ 时，锚固长度范围内应配置横向构造钢筋，其直径应小于 $d/4$；对梁、柱、斜撑等构件间距不应大于 $5d$，对板、墙等平面构件间距不应大于 $10d$，且均不应大于 100mm，此处 d 为锚固钢筋的直径。

（2）纵向受拉普通钢筋的锚固长度修正系数 ζ_a 应按下列规定取用：

1）当带肋钢筋的公称直径大于 25mm 时取 1.10；

2）环氧树脂涂层带肋钢筋取 1.25；

3）施工过程中易受扰动的钢筋取 1.10；

4）当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时，修正系数取设计计算面积与实际配筋面积的比值，但对有抗震设防要求及直接承受动力荷载的结构构件，不应考虑此项修正；

5）锚固钢筋的保护层厚度为 $3d$ 时修正系数可取 0.80，保护层厚度为 $5d$ 时修正系数可取 0.70，中间按内插取值，此处 d 为锚固钢筋的直径。

（3）当纵向受拉普通钢筋末端采用弯钩或机械锚固措施时，包括弯钩或锚固端头在内的锚固长度（投影长度）可取为基本锚固长度 l_{ab} 的 60%。弯钩和机械锚固的形式和技术要求应符合表 11-18 和图 11-34 的规定。

钢筋弯钩和机械锚固的形式和技术要求 **表 11-18**

锚固形式	技 术 要 求
90°弯钩	末端 90°弯钩，弯钩内径 $4d$，弯后直段长度 $12d$
135°弯钩	末端 135°弯钩，弯钩内径 $4d$，弯后直段长度 $5d$
一侧贴焊锚筋	末端一侧贴焊长 $5d$ 同直径钢筋
两侧贴焊锚筋	末端两侧贴焊长 $3d$ 向直径钢筋
焊端锚板	末端与厚度 d 的锚板穿孔塞焊
螺栓锚头	末端旋入螺栓锚头

注：1. 焊缝和螺纹长度应满足承载力要求；

2. 螺栓锚头和焊接锚板的承压净面积不应小于锚固钢筋截面积的 4 倍；

3. 螺栓锚头的规格应符合相关标准的要求；

4. 螺栓锚头和焊接锚板的钢筋净间距不宜小于 $4d$，否则应考虑群锚效应的不利影响；

5. 截面角部的弯钩和一侧贴焊锚筋的布筋方向宜向截面内侧偏置。

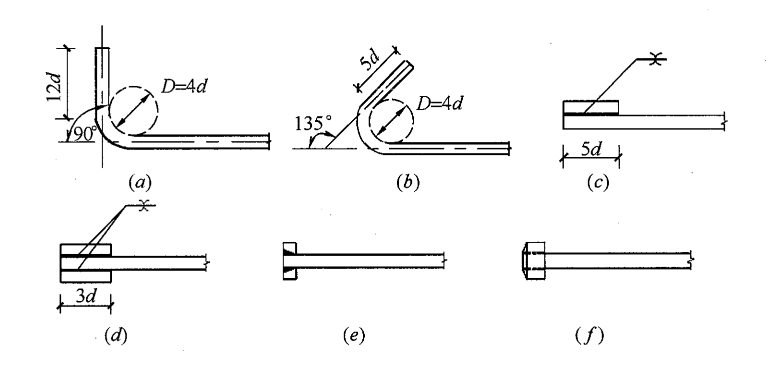


图 11-34 弯钩和机械锚固的形式和技术要求

(a) 90°弯钩；(b) 135°弯钩；(c) 一侧贴焊锚筋；
(d) 两侧贴焊锚筋；(e) 穿孔塞焊锚板；(f) 螺栓锚头

(4) 混凝土结构中的纵向受压钢筋，当计算中充分利用其抗压强度时，锚固长度不应小于相应受拉锚固长度的 70%。

受压钢筋不应采用末端弯钩和一侧贴焊锚筋的锚固措施。

受压钢筋锚固长度范围内的横向构造钢筋应符合《混凝土规范》第 8.3.1 条的有关规定。

(5) 承受动力荷载的预制构件，应将纵向受力普通钢筋末端焊接在钢板或角钢上，钢板或角钢应可靠地锚固在混凝土中。钢板或角钢的尺寸应按计算确定，其厚度不宜小于 10mm。

其他构件中受力普通钢筋的末端也可通过焊接钢板或型钢实现锚固。

四、钢筋的连接

(一) 钢筋的连接可采用绑扎搭接、机械连接或焊接。机械连接接头和焊接接头的类型及质量应符合国家现行有关标准的规定。在结构的重要构件和关键传力部位，纵向受力钢筋不宜设置连接接头。

受力钢筋的接头宜设置在受力较小处。在同一根钢筋上宜少设接头。

(二) 轴心受拉及小偏心受拉杆件的纵向受力钢筋不得采用绑扎搭接；其他构件中的钢筋采用绑扎搭接时，受拉钢筋直径不宜大于 25mm，受压钢筋直径不宜大于 28mm。

(三) 同一构件中相邻纵向受力钢筋的绑扎搭接接头宜相互错开。

钢筋绑扎搭接接头连接区段的长度为 1.3 倍搭接长度，凡搭接接头中点位于该连接区段长度内的搭接接头均属于同一连接区段（图 11-35）。同一连接区段内纵向受力钢筋搭接接头面积百分率为该区段内有搭接接头的纵向受力钢筋与全部纵向受力钢筋截面面积的比值。当直径不同的钢筋搭接时，按直径较小的钢筋计算。

位于同一连接区段内的受拉钢筋搭接接头面积百分率：对梁类、板类及墙类构件，不宜大于 25%；对柱类构件，不宜大于 50%。当工程中确有必要增大受拉钢筋搭接接头面积百分率时，对梁类构件，不宜大于 50%；对板、墙、柱及预制构件的拼接处，可根据实际情况放宽。

纵向受拉钢筋绑扎搭接接头的搭接长度，应根据位于同一连接区段内的钢筋搭接接头面积百分率按下列公式计算，且不应小于 300mm。

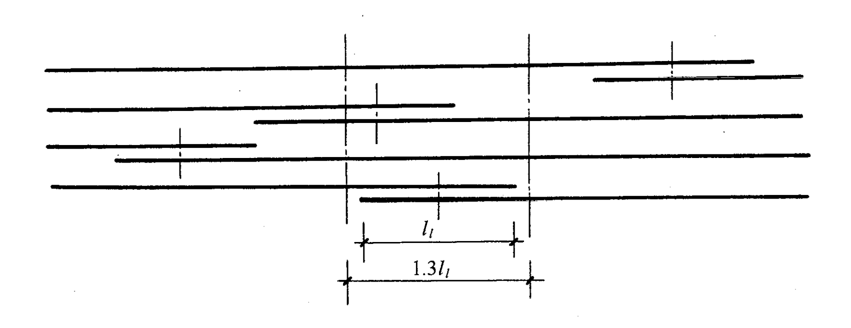


图 11-35　同一连接区段内的纵向受拉钢筋绑扎搭接接头
注：图中所示同一连接区段内 $1.3l_l$ 的搭接接头钢筋为两根，当钢筋直径相同时，
钢筋搭接接头面积百分率为 50％

$$l_l = \xi_1 l_a \tag{11-113}$$

式中　l_l——纵向受拉钢筋的搭接长度；

l_a——纵向受拉钢筋的锚固长度；

ξ_1——纵向受拉钢筋搭接长度修正系数，按表 11-19 取用。当纵向搭接钢筋接头面积百分率为表的中间值时，修正系数可按内插取值。

纵向受拉钢筋搭接长度修正系数 ξ_1　　　**表 11-19**

纵向钢筋搭接接头面积百分率（％）	≤25	50	100
ξ_1	1.2	1.4	1.6

（四）构件中的纵向受压钢筋，当采用搭接连接时，其受压搭接长度不应小于《混凝土规范》第 8.4.4 条纵向受拉钢筋搭接长度的 70％倍，且不应小于 200mm。

（五）在梁、柱类构件的纵向受力钢筋搭接长度范围内的横向构造钢筋应符合《混凝土规范》第 8.3.1 条的要求；当受压钢筋直径大于 25mm 时，尚应在搭接接头两个端面外 100mm 范围内各设置两道箍筋。

（六）纵向受力钢筋机械连接接头宜相互错开。钢筋机械连接区段的长度为 $35d$（d 为连接钢筋的较小直径），凡接头中点位于该连接区段长度内的机械连接接头均属于同一连接区段。

位于同一连接区段内的纵向受拉钢筋接头面积百分率不宜大于 50％，但对板、墙、柱及预制构件的拼接处，可根据实际情况放宽。纵向受压钢筋的接头百分率可不受限制。

（七）直接承受动力荷载的结构构件中的机械连接接头，除应满足设计要求的抗疲劳性能外，位于同一连接区段内的纵向受力钢筋接头面积百分率不应大于 50％。

（八）机械连接套筒的保护层厚度宜满足有关钢筋最小保护层厚度的规定。机械连接套筒的横向净间距不宜小于 25mm。

（九）纵向受力钢筋的焊接接头应相互错开。钢筋焊接接头连接区段的长度为 $35d$（d 为连接钢筋的较小直径），且不小于 500mm，凡接头中点位于该连接区段长度内的焊接接头均属于同一连接区段。

位于同一连接区段内纵向受力钢筋的焊接接头面积百分率，对纵向受拉钢筋接头，不宜大于 50％。纵向受压钢筋的接头百分率可不受限制。

（十）需进行疲劳验算的构件，其纵向受拉钢筋不得采用绑扎搭接接头，也不宜采用焊接接头，除端部锚固外不得在钢筋上焊有附件。

当直接承受吊车荷载的钢筋混凝土吊车梁、屋面梁及屋架下弦的纵向受拉钢筋必须采用焊接接头时，应符合下列规定：

1. 应采用闪光接触对焊，并去掉接头的毛刺及卷边；

2. 同一连接区段内纵向受拉钢筋焊接接头面积百分率不应大于 25%，焊接接头连接区段的长度应取为 $45d$（d 为纵向受力钢筋的较大直径）；

3. 疲劳验算时，焊接接头应符合《混凝土规范》第 4.2.6 条疲劳应力幅限值的规定。

五、纵向钢筋最小配筋率

（一）钢筋混凝土结构构件中纵向受力钢筋的配筋百分率不应小于表 11-6 规定的数值。

（二）卧置于地基上的混凝土板，板中受拉钢筋的最小配筋率可适当降低，但不应小于 0.15%。

第五节 结构构件的基本规定

一、板

（一）现浇钢筋混凝土板的厚度不应小于表 11-20 规定的数值。

现浇钢筋混凝土板的最小厚度（mm） **表 11-20**

板的类别		最小厚度
单向板	屋面板	60
	民用建筑楼板	60
	工业建筑楼板	70
	行车道下的楼板	80
双向板		80
密肋楼盖	面板	50
	肋高	250
悬臂板（根部）	悬臂长度不大于 500	60
	悬臂长度 1200	100
无梁楼板		150
现浇空心楼盖		200

（二）混凝土板应按下列原则进行计算：

1. 两对边支承的板应按单向板计算；

2. 四边支承的板应按下列规定计算：

（1）当长边与短边长度之比不大于 2.0 时，应按双向板计算；

（2）当长边与短边长度之比大于 2.0，但小于 3.0 时，宜按双向板计算；

（3）当长边与短边长度之比不小于 3.0 时，宜按沿短边方向受力的单向板计算，并应沿长边方向布置构造钢筋。

（三）板的跨厚比：钢筋混凝土单向板不大于 30，双向板不大于 40；无梁支承的有柱帽板不大于 35，无梁支承的无柱帽板不大于 30。预应力板可适当增加；当板的荷载、跨度较大时宜适当减小。

（四）当多跨单向板、多跨双向板采用分离式配筋时，跨中正弯矩钢筋宜全部伸入支

座；支座负弯矩钢筋向跨内的延伸长度应覆盖负弯矩图并满足钢筋锚固的要求。

（五）板中受力钢筋的间距，当板厚不大于 150mm 时不宜大于 200mm；当板厚大于 150mm 时不宜大于板厚的 1.5 倍，且不宜大于 250mm。

（六）简支板或连续板下部纵向受力钢筋伸入支座的锚固长度不应小于钢筋直径的 5 倍，且宜伸过支座中心线。当连接板内温度、收缩应力较大时，伸入支座的锚固长度宜适当增加。

（七）按简支边或非受力边设计的现浇混凝土板，当与混凝土梁、墙整体浇筑或嵌固在砌体墙内时，应设置板面构造钢筋，并符合下列要求：

1. 钢筋直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 200mm，且单位宽度内的配筋面积不宜小于跨中相应方向板底钢筋截面面积的 1/3。与混凝土梁、混凝土墙整体浇筑单向板的非受力方向，钢筋截面面积尚不宜小于受力方向跨中板底钢筋截面积的 1/3。

2. 钢筋从混凝土梁边、柱边、墙边伸入板内的长度不宜小于 $l_0/4$，砌体墙支座处钢筋伸入板边的长度不宜小于 $l_0/7$，其中计算跨度 l_0 对单向板按受力方向考虑，对双向板按短边方向考虑。

3. 在楼板角部，宜沿两个方向正交、斜向平行或放射状布置附加钢筋。

4. 钢筋应在梁内、墙内或柱内可靠锚固。

（八）当按单向板设计时，应在垂直于受力的方向布置分布钢筋，单位宽度上的配筋不宜小于单位宽度上的受力钢筋的 15%，且配筋率不宜大于 0.15%；分布钢筋直径不宜小于 6mm，间距不宜大于 250mm；当集中荷载较大时，分布钢筋的配筋面积尚应增加，且间距不宜大于 200mm。

当有实践经验或可靠措施时，预制单向权的分布钢筋可不受本条的限制。

（九）在温度、收缩应力较大的现浇板区域。应在板的表面双向配置防裂构造钢筋。配筋率均不宜小于 0.10%，间距不宜大于 200mm。防裂构造钢筋可利用原有钢筋贯通布置，也可另行设置钢筋并与原有钢筋按受拉钢筋的要求搭接或在周边构件中锚固。

楼板平面的瓶颈部位宜适当增加板厚和配筋。沿板的洞边、凹角部位宜加配防裂构造钢筋，并采取可靠的锚固措施。

（十）混凝土厚板及卧置于地基上的基础筏板，当板的厚度大于 2m 时，除应沿板的上、下表面布置的纵、横方向钢筋外，尚宜在板厚度不超过 1m 范围内设置与板面平行的构造钢筋网片，网片钢筋直径不宜小于 12mm，纵横方向的间距不宜大于 300mm。

（十一）混凝土板中配置抗冲切箍筋或弯起钢筋时，应符合下列构造要求：

1. 板的厚度不应小于 150mm；

2. 按计算所需的箍筋及相应的架立钢筋应配置在与 45°冲切破坏锥面相交的范围内，且从集中荷载作用面或柱截面边缘向外的分布长度不应小于 $1.5h_0$ [图 11-36（*a*）]；箍筋直径不应小于 6mm，且应做成封闭式，间距不应大于 $h_0/3$，且不应大于 100mm；

3. 按计算所需弯起钢筋的弯起角度可根据板的厚度在 30°～45°之间选取；弯起钢筋的倾斜段应与冲切破坏锥面相交 [图 11-36（*b*）]，其交点应在集中荷载作用面或柱截面边缘以外（1/2～2/3）h 的范围内。弯起钢筋直径不宜小于 12mm，且每一方向不宜少于 3 根。

二、梁

（一）钢筋混凝土梁纵向受力钢筋的直径，当梁高 $h \geqslant 300$mm 时，不应小于 10mm；当梁高 $h < 300$mm 时，不应小于 8mm。梁上部纵向钢筋水平方向的净间距（钢筋外边缘

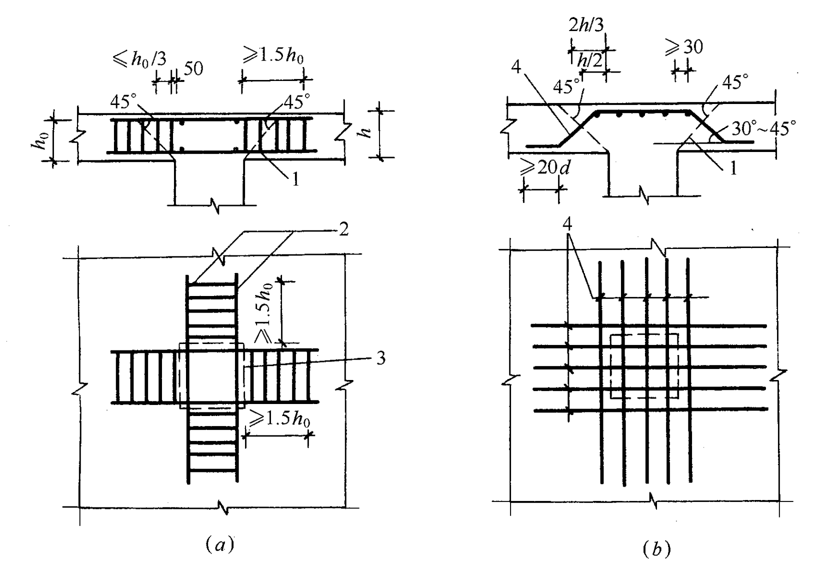


图 11-36　板中抗冲切钢筋布置

（a）用箍筋作抗冲切钢筋；（b）用弯起钢筋作抗冲切钢筋

1—冲切破坏锥面；2—架立钢筋；3—箍筋；4—弯起钢筋

注：图中尺寸单位：mm

之间的最小距离）不应小于 30mm 和 1.5d（钢筋的最大直径）；梁下部纵向钢筋水平方向的净间距不应小于 25mm 和 d。当梁的下部纵向钢筋配置多于两层时，两层以上钢筋水平方向的中距应比下面两层的中距增大一倍。各层钢筋之间的净间距不应小于 25mm 和 d。

伸入梁支座范围内的纵向受力钢筋根数，当梁宽 $b \geqslant 100$mm 时，不宜少于两根；当梁宽 $b < 100$mm 时，可为一根。

（二）钢筋混凝土简支梁和连续梁简支端的下部纵向受力钢筋，从支座边缘算起伸入支座内的锚固长度 l_{as}（图11-37）应符合下列规定：

1. 当 $V \leqslant 0.7 f_t b h_0$ 时：

$$l_{as} \geqslant 5d。$$

2. 当 $V > 0.7 f_t b h_0$ 时：

带肋钢筋　　　$l_{as} \geqslant 12d$；

光圆钢筋　　　$l_{as} \geqslant 15d$。

此处，d 为钢筋的最大直径。

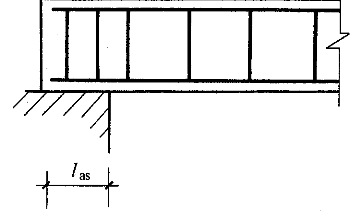


图 11-37　纵向受力钢筋伸入梁简支座的锚固

如纵向受力钢筋伸入梁支座范围内的锚固长度不符合上述要求时，可采取弯钩或机械锚固措施，并应满足《混凝土规范》第 8.3.3 条的规定。

支承在砌体结构上的钢筋混凝土独立梁，在纵向受力钢筋的锚固长度范围内应配置不少于两个箍筋，其直径不宜小于 $d/4$（d 为纵向受力钢筋的最大直径）；间距不宜大于 $10d$，当采取机械锚固措施时，箍筋间距尚不宜大于 $5d$（d 为纵向受力钢筋的最小直径）。

（三）钢筋混凝土梁支座截面负弯矩纵向受拉钢筋不宜在受拉区截断。

（四）在钢筋混凝土悬臂梁中，应有不少于两根上部钢筋伸至悬臂梁外端，并向下弯折不小于 $12d$。其余钢筋不应在梁的上部截断，而应按《混凝土规范》第 9.2.8 条规定的

弯起点位置向下弯折，并按《混凝土规范》第 9.2.7 条的规定在梁的下边锚固。

（五）梁内受扭纵向钢筋应符合下列规定：

沿截面周边布置的受扭纵向钢筋的间距不应大于 200mm 和梁截面短边长度；除应在梁截面四角设置受扭纵向钢筋外，其余受扭纵向钢筋宜沿截面周边均匀对称布置。受扭纵向钢筋应按受拉钢筋锚固在支座内。

（六）在混凝土梁中，宜采用箍筋作为承受剪力的钢筋。

当采用弯起钢筋时，其弯起角宜取 45°或 60°；在弯终点外应留有平行于梁轴线方向的锚固长度，且在受拉区不应小于 $20d$，在受压区不应小于 $10d$，d 为弯起钢筋的直径；梁底层钢筋中的角部钢筋不应弯起，顶层钢筋中的角部钢筋不应弯下。

（七）按承载力计算不需要箍筋的梁，当截面高度大于 300mm 时，应沿梁全长设置构造箍筋；当截面高度 $h=150\sim300$mm 时，可仅在构件端部各 1/4 跨度范围内设置箍筋；但当在构件中部 1/2 跨度范围内有集中荷载作用时，则应沿梁全长设置箍筋；当截面高度小于 150mm 时，可不设箍筋。

（八）梁中箍筋的间距应符合下列规定：

1. 梁中箍筋的最大间距宜符合表 11-21 的规定，当 $V>0.7f_tbh_0+0.05N_{p0}$ 时，箍筋的配筋率 ρ_{sv} [$\rho_{sv}=A_{sv}/(bs)$] 尚不应小于 $0.24f_t/f_{yv}$。

梁中箍筋的最大间距（mm） **表 11-21**

梁高 h	$V>0.7f_tbh_0+0.05N_{p0}$	$V\leqslant0.7f_tbh_0+0.05N_{p0}$
$150<h\leqslant300$	150	200
$300<h\leqslant500$	200	300
$500<h\leqslant800$	250	350
$h>800$	300	400

2. 当梁中配有按计算需要的纵向受压钢筋时，箍筋应做成封闭式；此时，箍筋的间距不应大于 $15d$（d 为纵向受压钢筋的最小直径），同时不应大于 400mm。当一层内的纵向受压钢筋多于 5 根且直径大于 18mm 时，箍筋间距不应大于 $10d$。当梁的宽度大于 400mm 且一层内的纵向受压钢筋多于 3 根时，或当梁的宽度不大于 400mm 但一层内的纵向受压钢筋多于 4 根时，应设置复合箍筋。

（九）对截面高度 $h>800$mm 的梁，其箍筋直径不宜小于 8mm；对截面高度 $h\leqslant$ 800mm 的梁，其箍筋直径不宜小于 6mm。梁中配有计算需要的纵向受压钢筋时，箍筋直径尚不应小于纵向受压钢筋最大直径的 0.25 倍。

（十）在弯剪扭构件中，箍筋的配筋率 ρ_{sv} 不应小于 $0.28f_t/f_{yv}$。箍筋间距应符合表 11-38 的规定，其中受扭所需的箍筋应做成封闭式，且应沿截面周边布置；当采用复合箍筋时，位于截面内部的箍筋不应计入受扭所需的箍筋面积。受扭所需箍筋的末端应做成 135°弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于 $10d$（d 为箍筋直径）。

在超静定结构中，考虑协调扭转而配置的箍筋，其间距不宜大于 $0.75b$，此处，b 按《混凝土规范》第 6.4.1 条的规定取用。但对箱形截面构件，b 均应以 b_h 代替。

（十一）位于梁下部或梁截面高度范围内的集中荷载，应全部由附加横向钢筋承担，附加横向钢筋宜采用箍筋。箍筋应布置在长度为 $2h_1$ 与 $3b$ 之和的范围内（图 11-38）。当采用吊筋时，弯起段应伸至梁上边缘，且末端水平段长度不应小于《混凝土规范》第 9.2.7 条的规定。

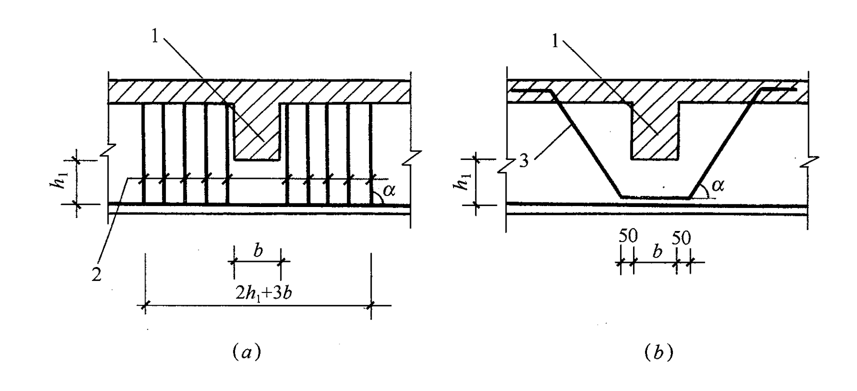


图 11-38　梁截面高度范围内有集中荷载作用时附加横向钢筋的布置

（a）附加箍筋；（b）附加吊筋

1—传递集中荷载的位置；2—附加箍筋；3—附加吊筋

注：图中尺寸单位：mm

附加横向钢筋所需的总截面面积应符合下列规定：

$$A_{sv} \geqslant \frac{F}{f_{yv}\sin\alpha} \tag{11-114}$$

式中　A_{sv}——承受集中荷载所需的附加横向钢筋总截面面积；当采用附加吊筋时，A_{sv}应为左、右弯起段截面面积之和；

F——作用在梁的下部或梁截面高度范围内的集中荷载设计值；

α——附加横向钢筋与梁轴线间的夹角。

（十二）折梁的内折角处应增设箍筋。箍筋应能承受未在压区锚固纵向受拉钢筋的合力，且在任何情况下不应小于全部纵向钢筋合力的 35%。

（十三）当梁的腹板高度 h_w 不小于 450mm 时，在梁的两个侧面应沿高度配置纵向构造钢筋。每侧纵向构造钢筋（不包括梁上、下部受力钢筋及架立钢筋）的截面面积不应小于腹板截面面积 bh_w 的 0.1%，且其间距不宜大于 200mm（见图 11-57）；但当梁宽较大时可以适当放松。此处，腹板高度 h_w 按《混凝土规范》第 6.3.1 条的规定取用。

（十四）薄膜梁或需作疲劳验算的钢筋混凝土梁，应在下部 1/2 梁高的腹板内沿两侧配置直径 8～14mm 的纵向构造钢筋，其间距为 100～150mm 并按下密上疏的方式布置。在上部 1/2 梁高的腹板内，纵向构造钢筋可按《混凝土规范》第 9.2.13 条的规定配置。

三、柱

（一）柱中纵向钢筋的配置应符合下列规定：

1. 纵向受力钢筋直径不宜小于 12mm；全部纵向钢筋的配筋率不宜大于 5%；

2. 柱中纵向钢筋的净间距不应小于 50mm，且不宜大于 300mm；

3. 偏心受压柱的截面高度不小于 600mm 时，在柱的侧面上应设置直径不小于 10mm 的纵向构造钢筋，并相应设置复合箍筋或拉筋；

4. 圆柱中纵向钢筋不宜少于 8 根，不应少于 6 根，且宜沿周边均匀布置。

（二）柱中的箍筋应符合下列规定：

1. 箍筋直径不应小于 $d/4$，且不应小于 6mm，d 为纵向钢筋的最大直径；

2. 箍筋间距不应大于400mm及构件截面的短边尺寸，且不应大于15d，d为纵向钢筋的最小直径；

3. 柱及其他受压构件中的周边筋箍应做成封闭式；对圆柱中的箍筋，搭接长度不应小于《混凝土规范》第8.3.1条规定的锚固长度，且末端应做成135°弯钩，弯钩末端平直段长度不应小于5d，d为箍筋直径；

4. 当柱截面短边尺寸大于400mm且各边纵向钢筋多于3根时，或当柱截面短边尺寸不大于400mm但各边纵向钢筋多于4根时，应设置复合箍筋；

5. 柱中全部纵向受力钢筋的配筋率大于3%时，箍筋直径不应小于8mm，间距不应大于10d，且不应大于200mm，d为纵向受力钢筋的最小直径。箍筋末端应做成135°弯钩，且弯钩末端平直段长度不应小于箍筋直径的10倍。

6. 在配有螺旋式或焊接环式箍筋的柱中，如在正截面受压承载力计算中考虑间接钢筋的作用时，箍筋间距不应大于80mm及$d_{cor}/5$，且不宜小于40mm，d_{cor}为按箍筋内表面确定的核心截面直径。

四、梁柱节点

（一）梁纵向钢筋在框架中间层端节点的锚固应符合下列要求：

1. 梁上部纵向钢筋伸入节点的锚固：

（1）当采用直线锚固形式时，锚固长度不应小于l_a，且应伸过柱中心线，伸过的长度不宜小于5d，d为梁上部纵向钢筋的直径；

（2）当柱截面尺寸不满足直线锚固要求时，梁上部纵向钢筋宜伸至柱外侧纵向钢筋内边，包括机械锚头在内的水平投影锚固长度不应小于$0.4l_{ab}$［图11-39（a）］；

（3）梁上部纵向钢筋也可采用90°弯折锚固的方式，此时梁上部纵向钢筋应伸至柱外侧纵向钢筋内边并向节点内弯折，其包含弯弧在内的水平投影长度不应小于$0.4l_{ab}$，弯折钢筋在弯折平面内包含弯弧段的投影长度不应小于15d［图11-39（b）］。

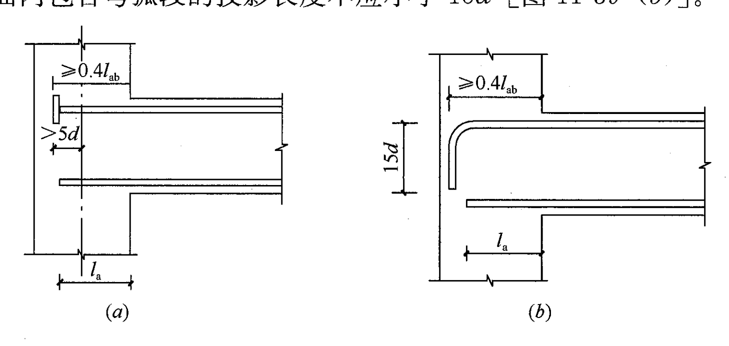


图11-39　梁上部纵向钢筋在中间层端节点内的锚固

（a）钢筋端部加锚头锚固；（b）钢筋末端90°弯折锚固

2. 框架梁下部纵向钢筋伸入端节点的锚固：

（1）当计算中充分利用该钢筋的抗拉强度时，钢筋的锚固方式及长度应与上部钢筋的规定相同；

（2）当计算中不利用该钢筋的强度或仅利用该钢筋的抗压强度时，伸入节点的锚固长度应分别符合《混凝土规范》第9.3.5条中间节点梁下部纵向钢筋锚固的规定。

（二）框架中间层中间节点或连续梁中间支座，梁的上部纵向钢筋应贯穿节点或支座。

梁的下部纵向钢筋宜贯穿节点或支座。当必须锚固时，应符合下列锚固要求：

1. 当计算中不利用该钢筋的强度时，其伸入节点或支座的锚固长度对带肋钢筋不小于 $12d$，对光面钢筋不小于 $15d$，d 为钢筋的最大直径；

2. 当计算中充分利用钢筋的抗压强度时，钢筋应按受压钢筋锚固在中间节点或中间支座内，其直线锚固长度不应小于 $0.7l_a$；

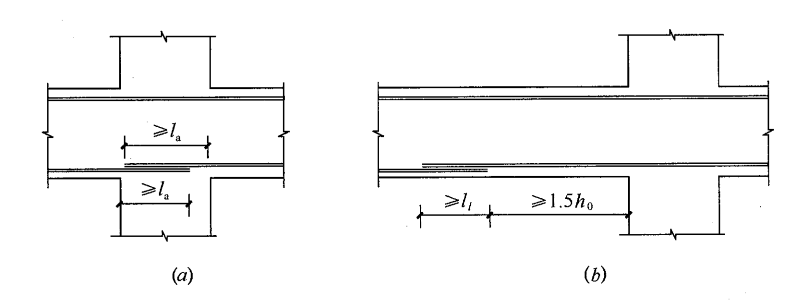


图 11-40　梁下部纵向钢筋在中间节点或中间支座范围的锚固与搭接

（a）下部纵向钢筋在节点中直线锚固；（b）下部纵向钢筋在节点或支座范围外的搭接

3. 当计算中充分利用钢筋的抗拉强度时，钢筋可采用直线方式锚固在节点或支座内，锚固长度不应小于钢筋的受拉锚固长度 l_a [图 11-40（a）]；

4. 当柱截面尺寸不足时，宜按上面（一）第 1. 款的规定采用钢筋端部加锚头的机械锚固措施，也可采用 90°弯折锚固的方式；

5. 钢筋可在节点或支座外梁中弯矩较小处设置搭接接头，搭接长度的起始点至节点或支座边缘的距离不应小于 $1.5h_0$ [图 11-40（b）]。

（三）柱纵向钢筋应贯穿中间层的中间节点或端节点，接头应设在节点区以外。

柱纵向钢筋在顶层中节点的锚固应符合下列要求：

1. 柱纵向钢筋应伸至柱顶，且自梁底算起的锚固长度不应小于 l_a。

2. 当截面尺寸不满足直线锚固要求时，可采用 90°弯折锚固措施。此时，包括弯弧在内的钢筋垂直投影锚固长度不应小于 $0.5l_{ab}$，在弯折平面内包含弯弧段的水平投影长度不宜小于 $12d$ [图 11-41（a）]。

3. 当截面尺寸不足时，也可采用带锚头的机械锚固措施。此时，包含锚头在内的竖向锚固长度不应小于 $0.5l_{ab}$ [图 11-41（b）]。

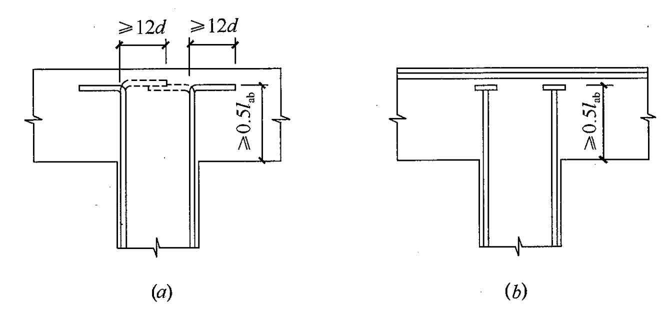


图 11-41　顶层节点中柱纵向钢筋在节点内的锚固

（a）柱纵向钢筋 90°弯折锚固；（b）柱纵向钢筋端头加锚板锚固

4. 当柱顶有现浇楼板且板厚不小于 100mm 时，柱纵向钢筋也可向外弯折，弯折后的水平投影长度不宜小于 $12d$。

（四）顶层端节点柱外侧纵向钢筋可弯入梁内作梁上部纵向钢筋；也可将梁上部纵向

钢筋与柱外侧纵向钢筋在节点及附近部位搭接，搭接可采用下列方式：

1. 搭接接头可沿顶层端节点外侧及梁端顶部布置，搭接长度不应小于 $1.5l_{ab}$ [图 11-42 (a)]。其中，伸入梁内的柱外侧钢筋截面面积不宜小于其全部面积的 65%；梁宽范围以外的柱外侧钢筋宜沿节点顶部伸至柱内边锚固。当柱外侧纵向钢筋位于柱顶第一层时，钢筋伸至柱内边后宜向下弯折不小于 $8d$ 后截断 [图 11-42 (a)]，d 为柱纵向钢筋的直径；当柱外侧纵向钢筋位于柱顶第二层时，可不向下弯折。当现浇板厚度不小于 100mm 时，梁宽范围以外的柱外侧纵向钢筋也可伸入现浇板内，其长度与伸入梁内的柱纵向钢筋相同。

2. 纵向钢筋搭接接头也可沿节点柱顶外侧直线布置 [图 11-42 (b)]，此时，搭接长度自柱顶算起不应小于 $1.7l_{ab}$。当梁上部纵向钢筋的配筋率大于 1.2%时，弯入柱外侧的梁上部纵向钢筋应满足本条第 1. 款规定的搭接长度，且宜分两批截断，其截断点之间的距离不宜小于 $20d$，d 为梁上部纵向钢筋的直径。

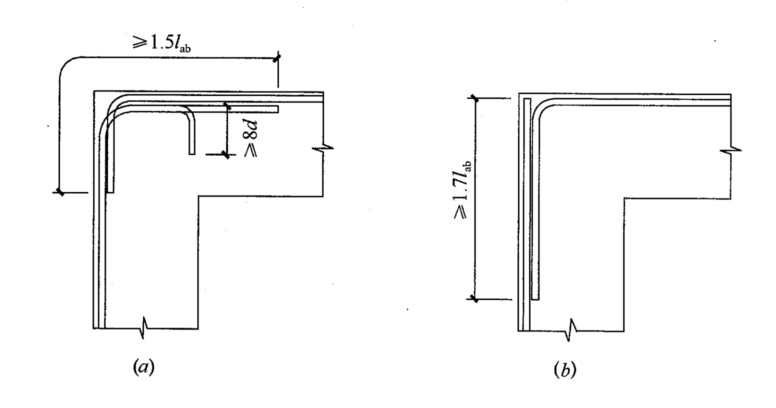


图 11-42　顶层端节点梁、柱纵向钢筋在节点内的锚固与搭接

(a) 搭接接头沿顶层端节点外侧及梁端顶部布置；(b) 搭接接头沿节点外侧直线布置

（五）在框架节点内应设置水平箍筋，箍筋应符合前述三、（二）条柱中箍筋的构造规定，但间距不宜大于 250mm。对四边均有梁的中间节点，节点内可只设置沿周边的矩形箍筋。当顶层端节点内有梁上部纵向钢筋和柱外侧纵向钢筋的搭接接头时，节点内水平箍筋应符合《混凝土规范》8.4.6 条的规定。

五、墙

（一）竖向构件截面的长边（长度）大于其短边（厚度）的 4 倍时，宜按墙的要求进行设计。

支撑预制楼（屋面）板的墙，其厚度不宜小于 140mm；对剪力墙结构尚不宜小于层高的 1/25，对框架-剪力墙结构尚不宜小于层高的 1/20。

当采用预制板时，支承墙的厚度应满足墙内竖向钢筋贯通的要求。

（二）厚度大于 160mm 的墙应配置双排分布钢筋网；结构中重要部位的剪力墙，当其厚度不大于 160mm 时，也宜配置双排分布钢筋网。

双排分布钢筋网应沿墙的两个侧面布置，且应采用拉筋连系；拉筋直径不宜小于 6mm，间距不宜大于 600mm。

（三）在平行于墙面的水平荷载和竖向荷载作用下，墙体宜根据结构分析所得的内力

和《混凝土规范》第 6.2 节的有关规定，分别按偏心受压或偏心受拉进行正截面承载力计算，并按《混凝土规范》第 6.3 节的有关规定进行斜截面受剪承载力计算。在集中荷载作用处，尚应按《混凝土规范》第 6.6 节进行局部受压承载力计算。

在在载力计算中，剪力墙的翼缘计算宽度可取剪力墙的间距、门窗洞间翼墙的宽度、剪力墙厚度加两侧各 6 倍翼墙厚度、剪力墙墙肢总高度的 1/10 四者中的最小值。

（四）墙水平及竖向分布钢筋直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 300mm。可利用焊接钢筋网片进行墙内配筋。

墙水平分布钢筋的配筋率 $\rho_{sh}\left(\frac{A_{sh}}{bs_v}，s_v\text{为水平分布钢筋的间距}\right)$和竖向分布钢筋的配筋率 $\rho_{sv}\left(\frac{A_{sv}}{bs_h}，s_h\text{为竖向分布钢筋的间距}\right)$不宜小于 0.20%；重要部位的墙，水平和竖向分布钢筋的配筋率宜适当提高。

墙中温度、收缩应力较大的部位，水平分布钢筋的配筋率宜适当提高。

（五）对于房屋高度不大于 10m 且不超过 3 层的墙，其截面厚度不应小于 120mm，其水平与竖向分布钢筋的配筋率均不宜小于 0.15%。

（六）墙中配筋构造应符合下列要求：

1. 墙竖向分布钢筋可在同一高度搭接，搭接长度不应小于 $1.2l_a$。

2. 墙水平分布钢筋的搭接长度不应小于 $1.2l_a$。同排水平分布钢筋的搭接接头之间以及上、下相邻水平分布钢筋的搭接接头之间，沿水平方向的净间距不宜小于 500mm。

3. 墙中水平分布钢筋应伸至墙端，并向内水平弯折 $10d$，d 为钢筋直径。

4. 端部有翼墙或转角的墙，内墙两侧和外墙内侧的水平分布钢筋应伸至翼墙或转角外边，并分别向两则水平弯折 $15d$。在转角墙处，外墙外侧的水平分布钢筋应在墙端外角处弯入翼墙，并与翼墙外侧的水平分布钢筋搭接。

5. 带边框的墙，水平和竖向分布钢筋宜分别贯穿柱、梁或锚固在柱、梁内。

（七）墙洞口连梁应沿全长配置箍筋，箍筋直径不应小于 6mm，间距不宜大于 150mm。在顶层洞口连梁纵向钢筋伸入墙内的锚固长度范围内，应设置间距不大于 150mm 的箍筋，箍筋直径宜与跨内箍筋直径相同。同时，门窗洞边的竖向钢筋应满足受拉钢筋锚固长度的要求。

墙洞口上、下两边的水平钢筋除应满足洞口连梁正截面受弯承载力的要求外，尚不应少于 2 根直径不小于 12mm 的钢筋。对于计算分析中可忽略的洞口，洞边钢筋截面面积分别不宜小于洞口截断的水平分布钢筋总截面面积的一半。纵向钢筋自洞口边伸入墙内的长度不应小于受拉钢筋的锚固长度。

（八）剪力墙墙肢两端应配置竖向受力钢筋，并与墙内的竖向分布钢筋共同用于墙的正截面受弯承载力计算。每端的竖向受力钢筋不宜少于 4 根直径为 12mm 或 2 根直径为 16mm 的钢筋，并宜沿该竖向钢筋方向配置直径不小于 6mm、间距为 250mm 的箍筋或拉筋。

六、预埋件及吊环

（一）受力预埋件的锚筋应采用 HRB400 或 HPB300 钢筋，不应采用冷加工钢筋。

（二）吊环应采用 HPB300 钢筋或 Q235B 圆钢，并应符合下列规定：

1. 吊环锚入混凝土中的深度不应小于 $30d$ 并应焊接或绑扎在钢筋骨架上，d 为吊环钢筋或圆钢的直径。

2. 应验算在荷载标准值作用下的吊环应力，验算时每个吊环可按两个截面计算。对 HPB300 钢筋，吊环应力不应大于 65N/mm^2；对 Q235B 圆钢，吊环应力不应大于 50N/mm^2。

3. 当在一个构件上设有 4 个吊环时，应按 3 个吊环进行计算。

第六节　预应力混凝土构件

一、预应力混凝土的基本原理

（一）普通钢筋混凝土结构的缺点

1. 抗裂性差

由于混凝土的抗拉极限强度低，受拉极限应变很小，只约为$(1\sim1.5)\times10^{-4}$，因而构件混凝土很容易开裂。而当构件即将开裂时，钢筋的拉应力仅约为 $\sigma_s=(1\sim1.5)\times10^{-4}\times2\times10^5=(20\sim30)\text{N/mm}^2$，这个数值远低于钢筋的屈服强度。当受拉区混凝土的裂缝宽度达到其限值 0.2～0.3mm 时，受拉钢筋的应力也仅为 200N/mm^2 左右；所以，钢筋混凝土构件一般都是带裂缝工作的。

2. 高强度钢筋和高强度混凝土不能充分发挥作用

如在钢筋混凝土构件中采用设计强度高于 400N/mm^2 的钢筋，则在其强度未充分利用之前，裂缝宽度和变形已超过了允许限值，不能满足构件正常使用的要求。因此，普通钢筋混凝土结构要想满足正常使用极限状态验算的要求，高强度钢筋就无法充分发挥作用；对于混凝土而言，提高其强度等级，虽可以有效地增大抗压能力，但随着混凝土强度等级的提高，其抗拉能力却提高很少。所以，采用提高混凝土强度等级的方法来改善其抗裂性将收效甚微。

3. 结构自重大、刚度小

由于高强度材料不能充分发挥作用，普通钢筋混凝土结构采用的钢筋等级大都为Ⅲ级或Ⅲ级以下，采用的混凝土强度等级一般也仅为 C30 或 C30 以下。所以，钢筋混凝土结构构件的截面尺寸通常较大，致使构件自重偏大。又由于钢筋混凝土构件在正常使用时带裂缝工作，造成构件的刚度较小，变形较大，使用性能不够理想。

（二）预应力混凝土的基本原理

预应力混凝土结构有 4 个基本概念：按张拉工艺的不同，可分为先张法和后张法两种；按传递预应力的途径的不同，可分为有黏结和无黏结两种。

预应力混凝土的基本原理是：在结构构件受外荷载之前，预先对混凝土受拉区人为地施加压应力，以减小或抵消外荷载产生的拉应力，使构件在正常使用情况下不开裂、推迟开裂或裂缝宽度减小。

如图 11-43 所示的混凝土简支梁，在构件使用前，如在其两端截面下缘施加一对集中压力 N_p，则构件各截面均处于全截面受压（或大部分受压）状态，其截面应力分布如图 11-43（a）所示；在外荷载（如两个集中力 P）作用下，截面重心轴以下受拉，截面重心轴以上受压，应力分布如图 11-43（b）所示；利用材料力学的叠加原理，便可得到此预应

力混凝土构件在使用阶段的截面应力分布，如图 11-43（c）所示，可以清楚地看到，混凝土受拉区的应力已大为减小。

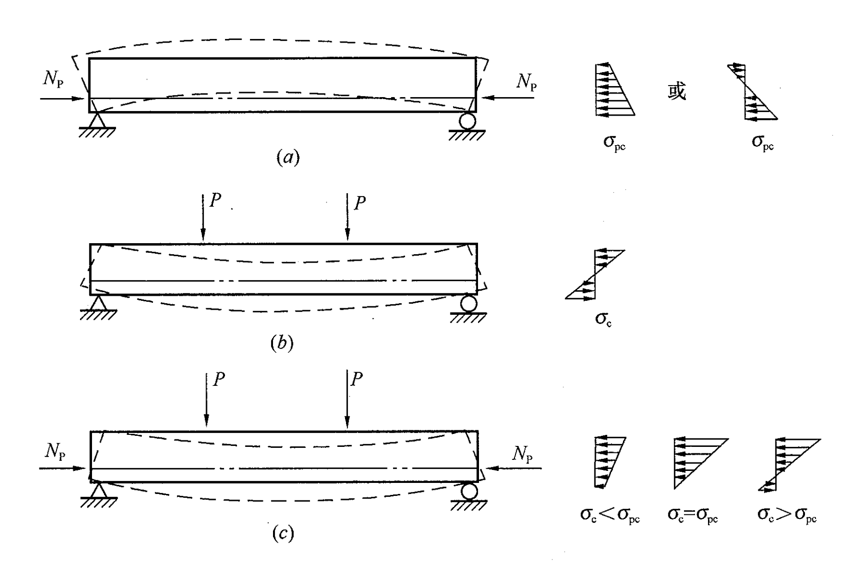


图 11-43　预应力混凝土受弯构件基本原理示意图

（三）预应力混凝土构件的优缺点

1. 主要优点为：

（1）提高抗裂性和抗渗性

在承受外荷载之前，利用张拉钢筋的回弹对混凝土构件施加预应力，克服了混凝土抗拉强度低、开裂早的缺点。使混凝土结构得以在裂缝控制较严的结构上使用。例如水池、油罐、受到侵蚀性介质作用的工业厂房、水工、港工结构物等。

（2）可充分利用高强度材料

在预应力构件中，高强度钢筋和高强度混凝土得到充分利用，从而提高结构承载力，减轻自重，降低造价。使混凝土结构得以在大跨度结构和承受重型荷载结构中使用。例如大跨度屋盖和桥梁、超高层楼房等。

（3）刚度大、变形小

预应力构件在使用时可以不出现裂缝或裂缝小，因此其刚度较大，抵抗变形的能力增大；而且对受弯构件施加预应力产生的反拱还可以抵消荷载作用下的挠度。因而适用于变形控制较严的构件。例如重型吊车梁、大跨度梁式构件等。

（4）提高工程质量和结构的耐久性

2. 主要缺点为：

（1）施工工序多，工艺较复杂，需要有一定素养的专业技术施工队；

（2）设计工作比较繁重，施工需要有相应的张拉设备和场地；

（3）有时反拱过大，需要控制；

（4）开裂荷载与破坏荷载比较接近，构件延性较差等。

二、预应力混凝土种类、方法和材料

（一）预应力混凝土结构的种类

1. 全预应力和部分预应力

全预应力混凝土结构是指在全部使用荷载及预应力共同作用下，受拉区不出现拉应力。它具有抗裂性好、刚度大等优点；其缺点是费用大、施工过程预拉区会开裂、有时反拱过大和结构延性较差。

部分预应力混凝土结构是指在全部使用荷载和预应力共同作用下，受拉区出现拉应力或出现裂缝。它的优点是：可节约预应力筋、避免反拱过大且裂缝宽度较小。

2. 无黏结预应力

目前工程中常用的是有黏结预应力混凝土结构构件，但在特殊情况下，也采用无黏结预应力混凝土结构构件，如在现浇楼板结构中。无黏结预应力混凝土是省去预留孔道和灌浆工艺的后张预应力混凝土，一般采用专门油脂和塑料套管以隔开预应力钢筋和混凝土。

（二）施加预应力的方法

1. 先张法

在浇筑混凝土之前张拉钢筋的方法称为先张法，如图 11-44 所示。先张法的工序为：

（1）在台座（或钢模）上张拉钢筋，并将其临时锚固在台座（或钢模）上；

（2）支模、绑扎普通钢筋（如用于抗剪的和用于局部加强的非预应力钢筋），并浇筑混凝土；

（3）养护混凝土，待其达到立方体抗压强度，不宜低于设计强度的 75%后，放松或切断钢筋，钢筋在回缩时挤压混凝土，使混凝土获得预压应力。可见，先张法是靠钢筋和混凝土之间的黏结力来传递预应力的。

2. 后张法

当混凝土结硬后在构件上张拉钢筋的方法称为后张法，如图 11-45 所示。后张法的工序为：

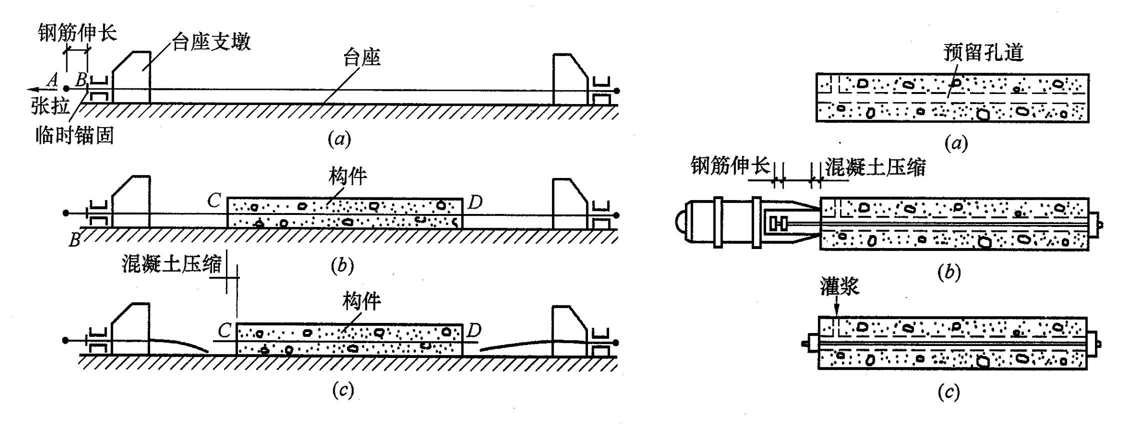


图 11-44　先张法主要工序示意图

图 11-45　后张法主要工序示意图

（1）浇筑混凝土构件，并在构件中预留孔道；

（2）待混凝土达到立方体抗压强度不宜低于设计强度的 75%后，将预应力钢筋穿入孔道，利用构件本身作为加力台座，在张拉钢筋的同时，构件混凝土受到预压产生了预压应力；

（3）当预应力钢筋的张拉应力达到设计规定值后，在张拉端用工作锚将钢筋锚紧，使

构件保持预压状态；

（4）最后，在孔道内进行压力灌浆（在远离灌浆孔的适当位置预留排气孔，以保证灌浆密实），以防钢筋锈蚀，并使预应力钢筋与混凝土结成整体。可见，后张法是靠工作锚具来传递预应力的。

（三）预应力混凝土构件材料

1. 对混凝土的要求

（1）强度高。在施加预应力时，混凝土受到很高的预压应力作用，需要有较高的强度；与高强度钢筋相匹配也需要高强度的混凝土，特别对于先张法构件需要靠混凝土与钢筋间的黏结力传递预应力，混凝土的强度越高，其黏结强度也越高。《混凝土规范》规定：预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于C30；当采用钢绞线、钢丝、热处理钢筋作预应力钢筋时，混凝土强度等级不宜低于C40。一般先张法构件选用的混凝土强度等级比后张法高些。

（2）结硬快、早期强度高。这样可以尽早施加预应力，加速设备的周转，提高构件生产率，降低成本。

（3）收缩、徐变小。可以尽量减少由于收缩和徐变引起的预应力损失。

2. 对钢筋的要求

（1）强度高。只有高强度钢筋才能建立足够的有效预应力，使预应力构件充分发挥其优点。

（2）具有一定塑性。为避免构件发生脆性破坏，要求所用钢筋具有一定的伸长率。

（3）有良好的加工性能。加工性能有可焊性、冷镦、热镦等，即经加工后，钢筋的物理力学性能基本不减。

（4）与混凝土之间有可靠的黏结力。对于先张法构件，钢筋与混凝土之间的黏结力尤为重要。当采用光面高强钢丝时，表面应经“刻痕”或“压波”等处理后方可使用。

预应力钢筋有：各种钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋三类。

三、张拉控制应力和预应力损失

（一）张拉控制应力

1. 张拉控制应力 σ_{con} 是指在张拉预应力钢筋时达到的最大应力值。张拉控制应力的限值是根据预应力钢筋的种类来确定的。

（1）消除应力钢丝、钢绞线：

$$\sigma_{con} \leqslant 0.75 f_{ptk} \tag{11-115}$$

（2）中强度预应力钢丝：

$$\sigma_{con} \leqslant 0.70 f_{ptk} \tag{11-116}$$

（3）预应力螺纹钢筋：

$$\sigma_{con} \leqslant 0.85 f_{pyk} \tag{11-117}$$

式中　f_{ptk}——预应力筋极限强度标准值；

f_{pyk}——预应力螺纹钢筋屈服强度标准值。

2. 消除应力钢丝、钢绞线、中强度预应力钢丝的张拉控制应力值应不小于 $0.4 f_{ptk}$；

预应力螺纹钢筋的张拉应力控制值不宜小于 $0.5f_{pyk}$。当预应力张拉控制应力定得过高，可能会出现以下问题：

（1）开裂荷载与极限荷载很接近，构件在破坏前缺乏足够的预兆，使构件延性变差。

（2）为了减少预应力损失，常常需要进行超张拉，而由于钢材材质的不均匀性，钢筋的屈服强度有一定的离散性。如钢筋的控制应力定得太高，有可能在超张拉的过程中使个别钢筋的应力超过它的实际屈服强度，使钢筋产生塑流甚至脆断。

（3）有可能使施工阶段预拉区混凝土拉应力超过极限强度导致开裂，对后张法构件，则可能造成端部混凝土局部承压破坏。

3.《混凝土规范》还规定：当符合下列情况之一时，张拉控制应力限值可提高 $0.05f_{ptk}$或 $0.05f_{pyk}$：

（1）要求提高构件在施工阶段的抗裂性能而在使用阶段受压区内设置的预应力钢筋。

（2）要求部分抵消由于应力松弛、摩擦、钢筋分批张拉以及预应力钢筋与张拉台座之间的温差等因素产生的预应力损失。

除了对预应力钢筋的张拉控制应力的最大值有一定限值外，为了保证获得必要的预应力效果，《混凝土规范》还规定：预应力钢筋的张拉控制应力也不应小于$0.4f_{ptk}$。

（二）预应力损失

由于张拉工艺和材料特性等原因，使得预应力构件从开始制作到使用，预应力钢筋的张拉应力在不断地降低，这种现象称为预应力损失。有下列 7 项预应力损失（此处参照《预应力混凝土结构设计规范》JGJ/T 369 编写）：

1. 张拉端锚具变形和预应力筋内缩引起的预应力损失 σ_{l1}，可以通过减少垫板块数或增加台座长度的办法以减小损失；

2. 预应力筋与孔道壁、张拉端锚口间，以及在转向块处摩擦引起的预应力损失 σ_{l2}，可以通过两端张拉或超张拉的办法以减小损失。

3. 蒸养时受张拉预应力筋与承受拉力设备之间温差引起的预应力损失 σ_{l3}，可以采用两次升温的办法以减小损失。后张法无此项损失。

4. 预应力筋的应力松弛引起的预应力损失 σ_{l4}，可以采用超张拉的办法以减小损失；

5. 混凝土收缩和徐变引起的预应力损失 σ_{l5}，可以参考减小混凝土收缩、徐变的办法以减小损失。此项约占总损失的 50%～60%。

6. 环形构件螺旋式预应力筋挤压混凝土引起的预应力损失 σ_{l6}，当环形构件直径>3m时，可忽略不计。先张法无此项损失。

7. 混凝土弹性压缩引起的预应力损失 σ_{l7}。

（三）预应力损失的组合

上述 7 项预应力损失按混凝土预压前(第一批)、预压后(第二批)进行组合见表 11-22。

各阶段预应力损失值的组合 **表 11-22**

预应力损失值的组合	先张法构件	后张法构件
混凝土预压前（第一批）的损失	$\sigma_{l1}+\sigma_{l2}+\sigma_{l3}+\sigma_{l4}$	$\sigma_{l1}+\sigma_{l2}$
混凝土预压后(第二批）的损失	$\sigma_{l5}+\sigma_{l7}$	$\sigma_{l4}+\sigma_{l5}+\sigma_{l6}+\sigma_{l7}$

如求得的预应力总损失值 σ_l小于下列数值时，则按下列数值取用：

先张法：$100N/mm^2$；

后张法：80N/mm^2。

先张法与后张法的适用条件及其特点参见表 11-23。

先张法与后张法的适用条件及其特点　　表 11-23

	适用条件	构件类型	张拉设备及锚具的使用	预应力的传递	预应力筋的配置形式
先张法	适用于工厂制作	一般用于中、小型构件	可重复使用设备及锚具	通过预应力钢筋与混凝土之间的黏结力传递	采用直线配筋
后张法	可用于工厂，也可用于现场制作	适用于大型构件	锚具需固定在构件上，不能重复使用	预应力依靠钢筋端部的锚具传递	可采用直线配筋，也可采用曲线配筋

在一般实际工程中，预应力圆孔板采用先张法施工；预应力框架梁采用后张有黏结工艺；预应力平板可采用后张无黏结工艺。

（四）预应力构件和非预应力构件的比较

现对两种构件进行比较。一种是普通钢筋混凝土构件，另一种是截面尺寸、材料及配筋数量均与普通构件相同的预应力混凝土构件。通过两种构件的比较，说明预应力混凝土构件的受力特点如下：

（1）在非预应力构件中，在构件开裂前钢筋的应力值很小，而在预应力构件中预应力钢筋一直处于高拉应力状态，充分利用了钢筋和混凝土两种材料的特性。

（2）预应力构件产生裂缝时的外荷载远比非预应力构件的大。即预应力构件的抗裂度比非预应力构件大为提高，同时也提高了构件的刚度。

（3）由于两种构件破坏时都是受拉钢筋达到抗拉强度而受压区混凝土被压碎，故此两种构件的承载能力相等。

四、预应力混凝土轴心受拉构件在使用阶段的计算

（一）承载力计算

当构件自加载到破坏时，全部纵向拉力由预应力钢筋 A_p 和非预应力钢筋 A_s 承担，因此，预应力混凝土轴心受拉构件的承载力应按下列公式计算（图 11-46）：

$$N \leqslant f_y A_s + f_{py} A_p \tag{11-118}$$

式中　N——轴向拉力设计值；

f_y、f_{py}——非预应力钢筋及预应力钢筋的抗拉强度设计值；

A_s、A_p——非预应力钢筋及预应力钢筋的截面面积。

（二）使用阶段裂缝控制验算

对于使用阶段不允许出现裂缝的预应力混凝土轴心受拉构件，根据裂缝控制的不同等级，分别按下列公式计算（图 11-47）：

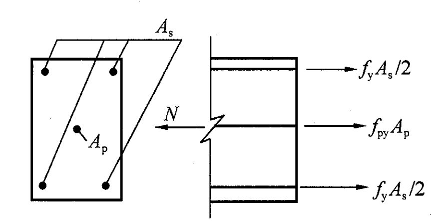


图 11-46　预应力混凝土轴心受拉构件的承载力计算图

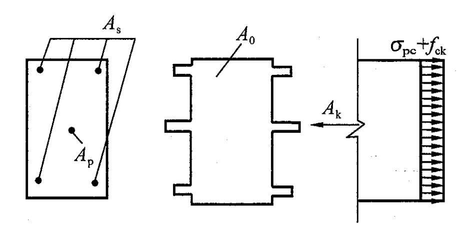


图 11-47　预应力轴心受拉构件抗裂验算图

1. 一级：严格要求不出现裂缝的构件。

按荷载效应标准组合计算时，混凝土不产生拉应力，即：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leqslant 0 \tag{11-119}$$

2. 二级：一般要求不出现裂缝的构件。

按荷载效应标准组合计算时，混凝土拉应力不应大于混凝土轴心抗拉强度标准值，即：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leqslant f_{tk} \tag{11-120}$$

按荷载效应准永久组合计算时，混凝土不宜产生拉应力（当有可靠经验时可适当放松），即：

$$\sigma_{cq} - \sigma_{pc} \leqslant 0 \tag{11-121}$$

式中 σ_{ck}——荷载效应的标准组合作用下抗裂验算的混凝土法向应力 $\sigma_{ck}=\dfrac{N_k}{A_0}$；

σ_{pc}——扣除全部预应力损失后的混凝土预压应力。

3. 三级：允许出现裂缝的构件。

对在使用阶段允许开裂的三级轴心受拉构件，只要裂缝宽度小于 0.2mm，最大裂缝宽度 $w_{max} \leqslant w_{lim}$ 即可，w_{lim} 为最大裂缝宽度允许值见表 11-12。

（三）预应力混凝土构件的特点

1. 预应力钢筋从张拉至破坏始终处于高拉应力状态，而混凝土则在到达 N_0（外荷载）以前始终处于受压状态，这样可以发挥高强混凝土受压、高强度钢筋受拉的特长。

2. 预应力混凝土构件与普通混凝土构件相比，抗裂度大为提高或者说开裂要晚得多，但裂缝出现的荷载与破坏荷载比较接近。

3. 当材料强度和截面尺寸相同时，预应力混凝土轴心受拉构件与普通钢筋混凝土轴心受拉构件的承载力相同，或者说预应力构件没有提高其承载力。

第七节　现浇钢筋混凝土楼盖

钢筋混凝土楼盖有现浇和预制两大类。现浇楼盖整体刚度好，抗震性能较优，并能适应于房间平面形状、设备管道、荷载或施工条件比较特殊的情况；其缺点是费工、费模板、工期长、受施工季节影响大。

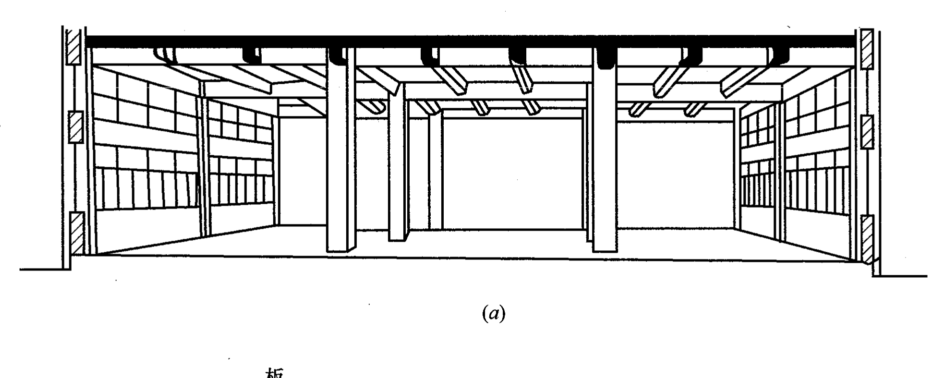
现浇钢筋混凝土楼盖，目前较多采用的有单向板肋形（肋梁）楼盖、双向板肋形楼盖、双重井式楼盖及无梁楼盖四种（图 11-48）。

从经济效果考虑，次梁的间距决定了板的跨度，而楼盖中板的混凝土用量占整个楼盖混凝土用量的 50%～70%。因此，为了尽可能减少板厚，一般板的跨度为 1.7～2.7m，次梁跨度为 4～7m，主梁跨度为 5～8m。双向板肋梁楼盖无次梁，板的跨度比较大，板也较厚，但荷载可以通过两个方向传递到主梁上去。井字楼盖跨中无柱子，直接将荷载传至四周墙上，室内空间大；由于两个方向的梁高度相同，房间的净高也较大。无梁楼盖可采用升板法将各层楼板吊装就位，特别适合施工场地很小的地方盖多层轻工业厂房。

一、混凝土板

（一）单向板与双向板

1. 两对边支承的板应按单向板计算。



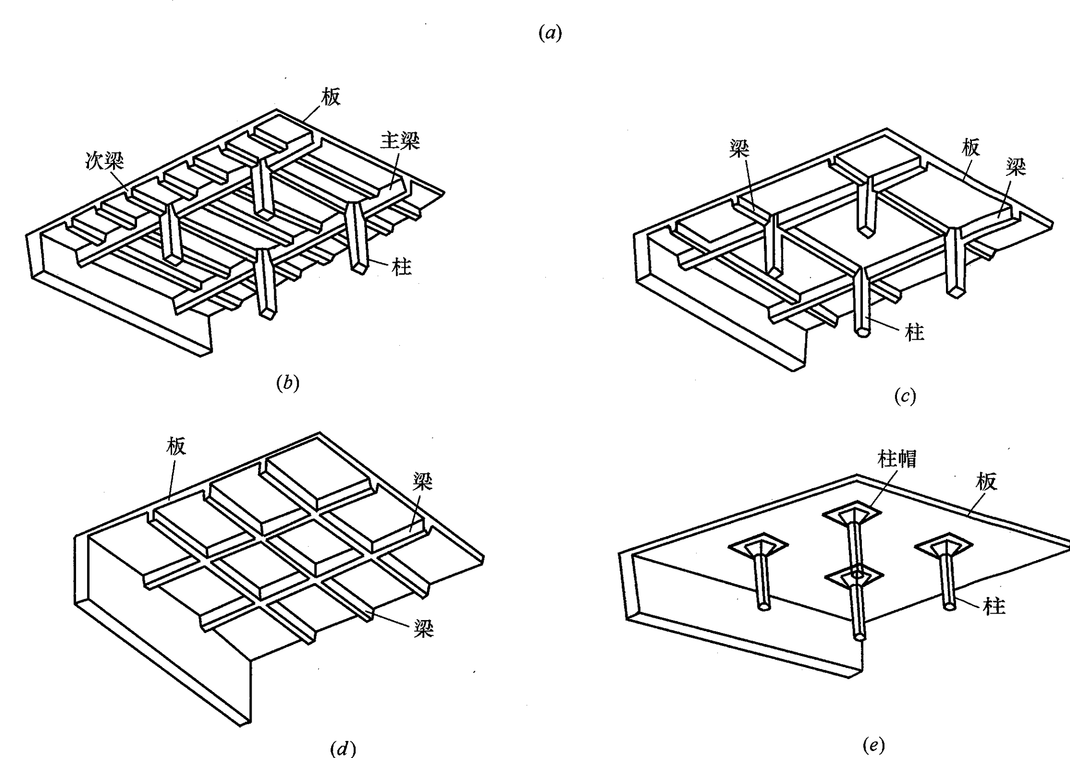


图 11-48 楼盖的主要结构形式

(a)、(b) 单向板肋梁楼盖；(c) 双向板肋梁楼盖；(d) 井式楼盖；(e) 无梁楼盖

2. 四边支承的板：

当长边与短边 $l_2/l_1 \leqslant 2$，应按双向板计算；

当 $2<l_2/l_1<3$，宜按双向板计算；

当 $l_2/l_1 \geqslant 3$，宜按短边方向单向板计算，长边方向布置构造钢筋（图 11-49）。

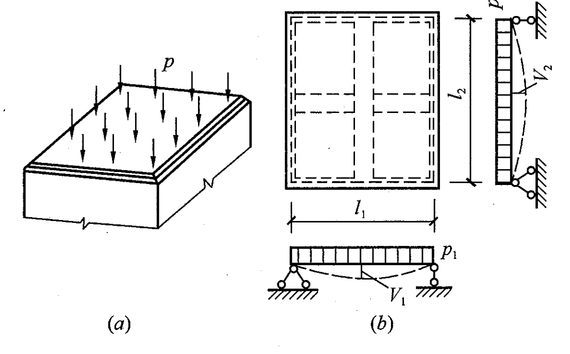


图 11-49 四边简支板受力状态

(a) 荷载简图；(b) 计算简图

（二）现浇混凝板的尺寸

1. 板的厚跨比（h/l）

为了使板具有足够的刚度，钢筋混凝土单向板（简支板），板厚 h 不大于板跨 l 的 1/30；双向板 h/l 不大于 1/40；无梁支承的有柱帽板 h/l 不大于 1/35；无梁支承的无柱帽板 h/l 不大于 1/30。

2. 板的厚度

现浇钢筋混凝土板的厚度不应小于表 11-24 规定的数值。

现浇钢筋混凝土板的最小厚度（mm） **表 11-24**

板的类别		最小厚度
单向板	屋面板	60
	民用建筑楼板	60
	工业建筑楼板	70
	行车道下的楼板	80
双向板		80
密肋楼盖	面板	50
	肋高	250
悬臂板（根部）	悬臂长度不大于 500mm	60
	悬臂长度 1200mm	100
无梁楼板		150
现浇空心楼盖		200

（三）板中受力钢筋

板中受力钢筋直径、间距应由计算确定。当板厚不大于 150mm 时，间距不宜大于 200mm；当板厚大于 150mm 时，间距不宜大于板厚的 1.5 倍，且不宜大于 250mm。简支板或连续板下部纵向受力钢筋伸入支座的锚固长度不应小于钢筋直径的 5 倍，且宜伸过支座中心线。

（四）板中构造钢筋

1. 嵌入墙内板的板面附加钢筋

嵌入承重墙内板，由于砖墙的约束作用，板在墙边产生一定的负弯矩，导致沿墙边板面上产生裂缝；还由于收缩和温度影响，板面角部产生拉应力和 45°斜裂缝。为了防止板面的裂缝，设置板面构造钢筋（图 11-50）：

（1）钢筋直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 200mm，且不宜小于跨中相应方向板底钢筋截面面积的 1/3。

（2）钢筋从混凝土梁边、柱边、墙边伸入板内的长度不宜小于 $l_0/4$，砌体墙处钢筋伸入板边的长度不宜小于 $l_0/7$，其中计算跨度 l_0 对单向板按受力方向考虑，双向板按短边方向考虑。

（3）在楼板角部，宜沿两个方向正交。斜向平行或放射状布置附加钢筋。

2. 单向板的分布筋

单向板应在垂直于受力方向布置分布钢筋，配筋量不宜小于受力钢筋的 15%，且配筋率不宜小于 0.15%；分布钢筋直径不宜小于 6mm，间距不宜大于 250mm；当集中荷载较大时，配筋面积适当增加且间距不宜大于 200mm。

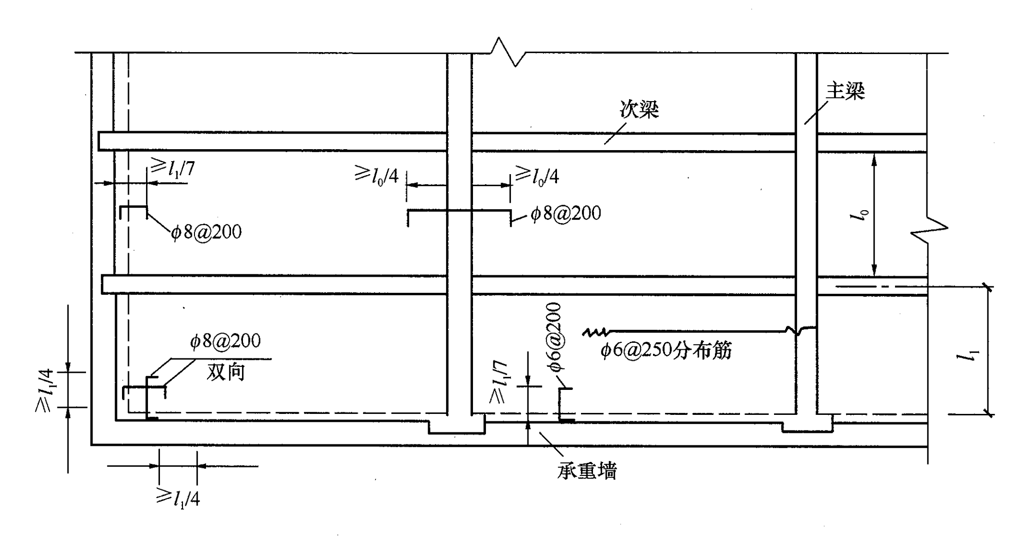


图 11-50　板面的构造钢筋

3. 温度、收缩应力较大的现浇板

应在板的表面双向配置防裂构造钢筋。配筋率均不宜小于 0.10%，间距不宜大于 200mm。

4. 混凝土厚板及卧于地基上的基础筏板

当板的厚度大于 2m 时，除应沿板的上、下表面布置纵、横方向钢筋外，尚宜在板厚不超过 1m 范围内设置与板面平行的构造钢筋网片，网片直径不宜小于 12mm，纵、横方向间距不宜大于 300mm。

5. 无支承边的板端部

当混凝土板的厚度不小于 150mm 时，对板无支承边的端部，宜设置 U 形构造钢筋并与板顶、板底钢筋搭接，搭接长度不宜小于 U 形构造钢筋直径的 15 倍且不宜小于 200mm；也可采用板面、板底钢筋分别向下、向上弯折搭接的形式。

二、钢筋混凝土梁

（一）纵向配筋

1. 纵向受力钢筋

梁的纵向受力钢筋应符合下列规定：

（1）纵向受力钢筋伸入梁支座不应少于 2 根。

（2）梁高不小于 300mm 时，钢筋直径不应小于 10mm；梁高小于 300mm 时，钢筋直径不应小于 8mm。

（3）为了使梁内纵向钢筋与混凝土之间有较好的黏结，并避免钢筋过密而妨碍混凝土浇筑，梁上部钢筋水平方向净距不应小于 30mm 和 1.5d；梁下部钢筋水平方向的净距不应小于 25mm 和 d。当下部钢筋多于二层时，二层以上钢筋水平方向中距应比下面二层的中距大一倍；各层钢筋之间的净距不应小于 25mm 和 d，d 为钢筋最大直径（图 11-51）。

2. 下部纵向受力筋伸入端支座锚固长度

当剪力 $V \leqslant 0.7 f_t b h_0$ 时，不小于 5d；当 $V > 0.7 f_t b h_0$ 时，带肋钢筋不小于 12d，光圆

钢筋不小于 15d，d 为钢筋最大直径。

当混凝土强度等级为 C25 及以下的简支梁和连续梁的简支端，当距支座边 1.5h 范围内作用有集中荷载，且 $V>0.7f_tbh_0$ 时，带肋钢筋宜采取有效的锚固措施，或取锚固长度不小于 15d，d 为锚固钢筋的直径。

3. 梁支座负弯矩纵向受拉钢筋

当梁支座负弯矩纵向受拉钢筋需截断时，应符合下列规定：

（1）当剪力 $V\leqslant 0.7f_tbh_0$ 时，应按计算不需要该钢筋的截面以外不小于 20d 处截断，且从该钢筋强度充分利用截面伸出长度不应小于 $1.2l_a$。

（2）当 $V>0.7f_tbh_0$ 时，应按计算不需要该钢筋的截面以外不小于 h_0 且不小于 20d 处截断；且从该钢筋强度充分利用截面伸出的长度不应小于 $1.2l_a+h_0$，如图 11-52 所示。

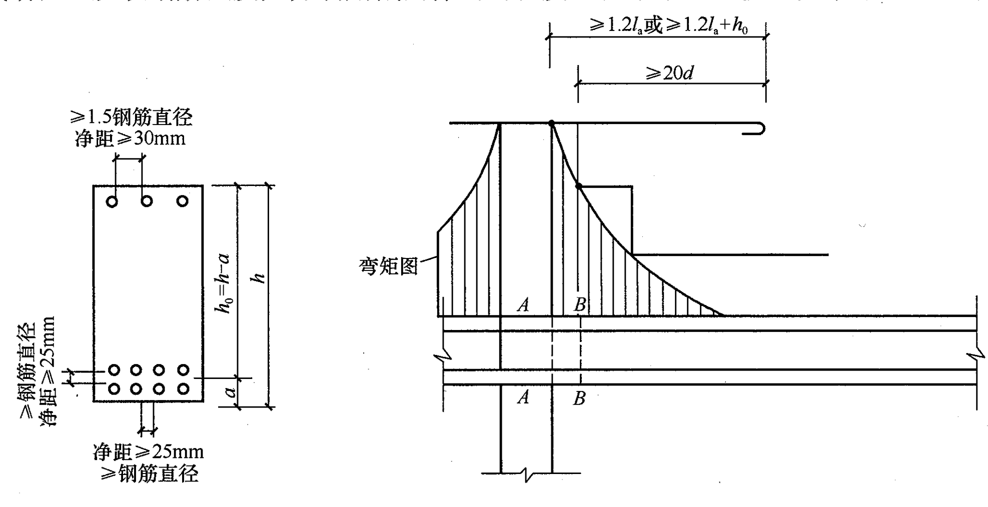


图 11-51　钢筋的间距　　　　图 11-52　纵向受拉钢筋截断位置

4. 梁内纵向受扭纵筋

梁应沿截面四周布置纵向受扭钢筋，其间距不应大于 200mm 和梁截面短边长度；除应在梁四角布置受扭纵筋外，其余纵向受扭纵筋沿截面周边均匀对称布置，如图 11-53 所示。

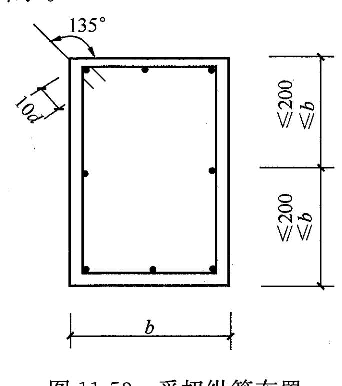


图 11-53　受扭纵筋布置

在弯剪扭构件中，在梁的受拉边应将受弯纵向受力钢筋面积与受扭受力钢筋面积叠加后放在梁的受拉边。

5. 梁的上部纵向构造钢筋

（1）当梁端简支计算但实际受到部分约束时，应在支座区上部设置纵向构造钢筋。其截面面积不应小于梁跨中下部纵向受力钢筋计算面积的 1/4，且不少于 2 根。

（2）对架立钢筋，当梁的跨度小于 4m 时，直径不宜小于 8mm；当梁的跨度为 4～6m 时，直径不应小于 10mm；当梁的跨度大于 6m 时，直径不宜小于 12mm。

（二）横向配筋

横向配筋是指梁中配置的箍筋和弯起钢筋。

1. 箍筋的配置

（1）按承载力计算不需要配箍筋，当梁截面高度大于 300mm 时，应沿全长设置构造箍筋；当截面高度 $h=150\sim300$mm 时，可仅在构件端部 $l_0/4$ 范围内设置构造箍筋，l_0 为计算跨度。如果在构件中部 $l_0/2$ 范围内有集中荷载作用时，则沿梁全长设置箍筋。当截面高度小于 150mm 时，可以不设箍筋。

（2）截面高度大于 800mm 的梁，箍筋直径不宜小于 8mm；对 $h\leqslant800$mm 的梁，不宜小于 6mm。梁中配有计算纵向受压钢筋时，箍筋直径尚不应小于 $d/4$，d 为受压筋最大直径。

（3）梁中箍筋的最大间距宜符合表 11-25 的规定；当剪力 $V>0.7f_tbh_0+0.05N_{p0}$时，配箍率 $\rho_{sv}=\dfrac{A_{sv}}{bs}\geqslant0.24f_t/f_{yv}$。

梁中箍筋最大间距 s_{max}（mm） **表 11-25**

项　次	梁高 h（mm）	$V>0.07f_cbh_0+0.05N_{p0}$	$V\leqslant0.07f_cbh_0+0.05N_{p0}$
1	$150<h\leqslant300$	150	200
2	$300<h\leqslant500$	200	300
3	$500<h\leqslant800$	250	350
4	$h>800$	300	400

（4）当梁中配有计算受压纵向钢筋时，箍筋尚应符合下列规定：

1）箍筋应做成封闭式，弯钩直线段长度不应小于 $5d$，d 为箍筋直径。

2）箍筋间距不应大于 $15d$，且不应大于 400mm。当一层内的纵向受压筋多于 5 根且直径大于 18mm 时，箍筋间距不应大于 $10d$，d 为纵向受压筋最小直径。

3）当梁的宽度大于 400mm 且一层内纵向受压钢筋多于 3 根时，或梁的宽度不大于 400mm，但一层内纵向受压筋多于 4 根时，应设置复合箍筋。复合箍筋是指两个双肢箍（或称四肢箍），或一个双肢箍中间加一个单肢箍。

2. 弯起钢筋

在采用绑扎骨架的钢筋混凝土梁中，承受剪力宜优先采用箍筋。当设置弯起钢筋时，其弯起角一般采用 45°，当梁高大于 800mm 时，可采用 60°。在弯起钢筋的弯终点外，应留有平行于梁轴线方向的锚固长度，在受拉区不应小于 $20d$（d 为弯筋直径），在受压区不小于 $10d$。底层（或顶层）角筋不应弯起（或弯下）。弯起钢筋一般是利用纵向钢筋在按正截面受弯承载力计算已不需要处将其弯起，但也可以单独设置，此时应将其布置成鸭筋形式（图 11-54），而不应采用浮筋形式，因为浮筋可能会由于锚固不足而滑动，从而影响其受剪承载力。弯起钢筋的弯折半径 r 不应小于 $10d$（d 为弯起钢筋的直径）。

弯起钢筋的弯起点在按正截面受弯承载力计算不需要该钢筋截面以前，弯起筋与梁中心线交点 a 在不需要该钢筋截面之外；同时弯起点与该钢筋充分利用截面的距离$\geqslant h_0/2$。弯起钢筋第一排的弯终点与第二排的弯起点之间的距离应符合表 11-25 的规定(图 11-55)。

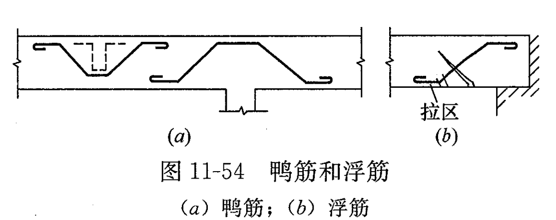


图 11-54　鸭筋和浮筋

（a）鸭筋；（b）浮筋

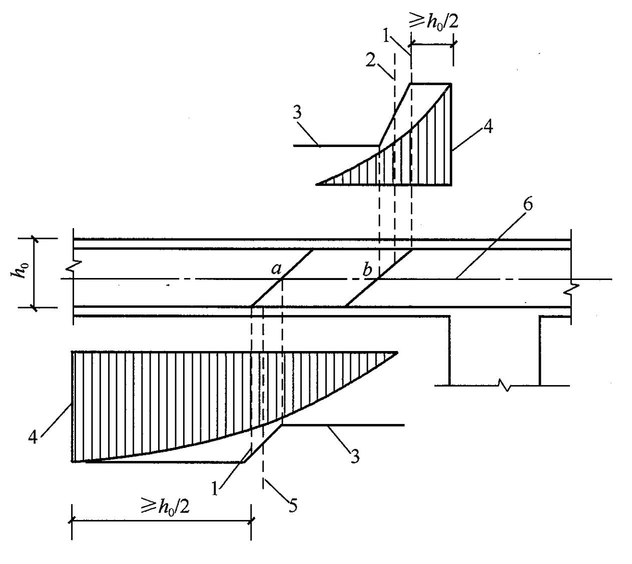


图 11-55　弯起钢筋弯起点与弯矩图的关系

1—在受拉区中的弯起截面；2—按计算不需要钢筋“b”的截面；3—正截面受弯承载力图；4—按计算充分利用钢筋“a”或“b”强度的截面；5—按计算不需要钢筋“a”的截面；6—梁中心线

（三）局部配筋

1. 梁截面高度范围内有集中荷载

在次梁与主梁相交处，次梁传来的集中荷载可能使主梁的下部产生斜裂缝［图 11-56（a）］，为了保证主梁在这些部位有足够的承载力，应在次梁的两侧设置附加横向钢筋［图 11-56（b）］，附加横向钢筋可以用箍筋或吊筋，其布置的宽度应为 $s = 2h_1 + 3b$。第一道附加箍筋离次梁边 50mm，吊筋下部尺寸为次梁宽度加 100mm 即可。

2. 腹板上纵向构造钢筋

当梁的腹板高度 $h_w \geqslant 450$mm 时，在梁的两个侧面沿高度配置纵向构造钢筋（通常称为腰筋）（图 11-57），每侧纵向构造钢筋（不包括梁上、下部受力钢筋及架立钢筋）的截面面积不应小于腹板截面面积 bh_w 的 0.1%，且其间距不宜大于 200mm。

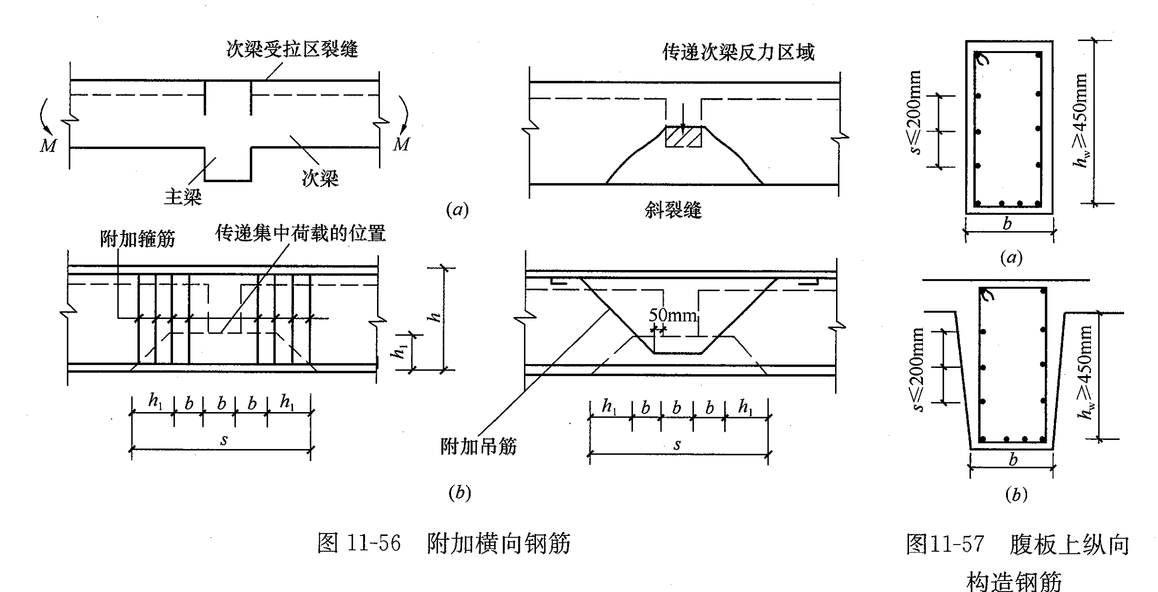


图 11-56　附加横向钢筋

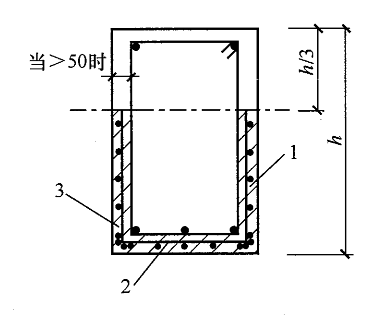
图11-57　腹板上纵向构造钢筋

（a）矩形截面梁；

（b）T 形截面梁

3. 梁的混凝土保护层厚度＞50mm，配置表层钢筋网片

（1）表层钢筋宜采用焊接网片，其直径不宜大于 8mm，间距不应大于 150mm；网片应配置在梁底和梁侧，梁侧的网片钢筋应延伸至梁高的 2/3 处，如图 11-58 所示。



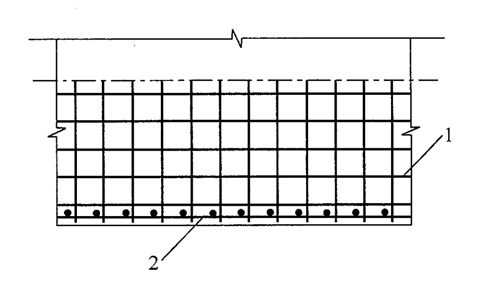


图 11-58　配置表层钢筋网片的构造要求

1—梁侧表层钢筋网片；2—梁底表层钢筋网片；3—配置网片钢筋区域

（2）两个方向上表层网片钢筋的截面面积均不应小于相应混凝土保护层（图 11-58 阴影部分）面积的 1%。

习　题

11-1　对于钢筋混凝土屋盖，因温度变化和砌体干缩变形引起墙体的裂缝（如顶层墙体的八字缝、水平缝），下列预防措施中哪一条是错误的？（　　）

A　屋盖上设置保温层或隔热层

B　采用有装配式有檩体系的钢筋混凝土屋盖和瓦材屋盖

C　严格控制块体出厂到砌筑的时间，避免块体遭受雨淋

D　增加屋盖的整体刚度

11-2　一根普通钢筋混凝土梁，已知：Ⅰ. 混凝土和钢筋的强度等级；Ⅱ. 截面尺寸；Ⅲ. 纵向受拉钢筋的直径和根数；Ⅳ. 纵向受压钢筋的直径和根数；Ⅴ. 箍筋的直径、间距和肢数；Ⅵ. 保护层厚度。在确定其斜截面受剪承载力的因素中，下列何者是正确的？（　　）

A　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ　　　　B　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ

C　Ⅰ、Ⅱ、Ⅴ、Ⅵ　　　　D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ

11-3　一根普通钢筋混凝土梁，已知：Ⅰ. 混凝土和钢筋的强度等级；Ⅱ. 截面尺寸；Ⅲ. 纵向受拉钢筋的直径和根数；Ⅳ. 纵向受压钢筋的直径和根数；Ⅴ. 箍数的直径、间距和肢数；Ⅵ. 保护层厚度。在确定其正截面受弯承载力的因素中，下列何者是正确的？（　　）

A　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ　　　　B　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ

C　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅵ　　　　D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ

11-4　钢筋混凝土楼盖梁如出现裂缝应按下述哪一条处理？（　　）

A　不允许的　　　　B　允许，但应满足构件变形的要求

C　允许，但应满足裂缝宽度的要求　　　　D　允许，但应满足裂缝开展深度的要求

11-5　室外受雨淋的钢筋混凝土构件如出现裂缝时，下列何者是正确的？（　　）

A　不允许　　　　B　允许，但应满足构件变形的要求

C　允许，但应满足裂缝开展宽度的要求　　　　D　允许，但应满足裂缝开展深度的要求

11-6　按规范确定钢筋混凝土构件中纵向受拉钢筋最小锚固长度时，应考虑：Ⅰ. 混凝土的强度等级；Ⅱ. 钢筋的钢号；Ⅲ. 钢筋的外形（光圆、螺纹等）；Ⅳ. 钢筋末端是否有弯勾；Ⅴ. 是否有抗震要求。下列何者是正确的？（　　）

A　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ　　　　B　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ

C　Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ　　　　D　Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ

11-7　混凝土结构设计规范规定：混凝土强度等级为 C40 时，偏心受压构件的受拉钢筋的最小百分率为

0.2%。对于图示中的工形截面柱，其最小配筋面积应为(　　)。

A　A_s=(600×600−450×300)×0.2%=450mm²

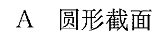
B　A_s=(600×565−450×300)×0.2%=408mm²

C　A_s=150×600×0.2%=180mm²

D　A_s=150×565×0.2%=170mm²

题 11-7 图

11-8　四根材料和截面面积相同而截面形状不同的均质梁，其抗弯能力最强的是(　　)。



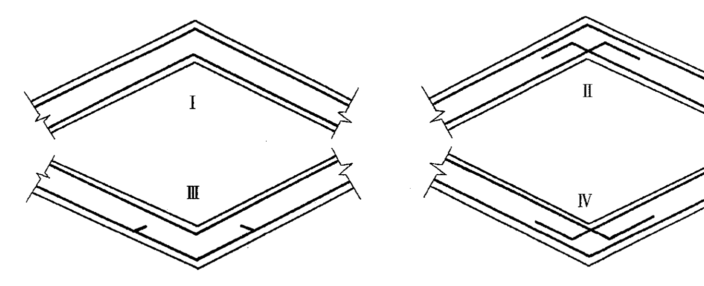
A　圆形截面　　　　B　正方形截面

C　宽高比为 0.5 的矩形截面　　　　D　宽高比为 2.0 的矩形截面

11-9　下图所示梁受拉区（下部钢筋受拉）折角处纵向钢筋配筋方案中，哪一组是正确的？

A　Ⅰ、Ⅲ　　　　B　Ⅰ、Ⅳ

C　Ⅱ、Ⅲ　　　　D　Ⅱ、Ⅳ



题 11-9 图

11-10　在其他条件相同的情况下，钢筋混凝土框架结构的伸缩缝最大间距比钢筋混凝土剪力墙结构的伸缩缝最大间距(　　)。

A　大　　　　B　小

C　相同　　　　D　不能肯定

11-11　下列哪一类钢筋混凝土结构允许的伸缩缝间距最大？(　　)

A　装配式框架结构　　　　B　现浇框架结构

C　全现浇剪力墙结构　　　　D　外墙装配式剪力墙结构

11-12　以下关于钢筋混凝土梁的变形及裂缝的叙述，哪一种是错误的？(　　)

A　进行梁的变形和裂缝验算是为了保证梁的正常使用

B　由于梁的类型不同，规范规定了不同的允许挠度值

C　处于室内环境下且年平均相对湿度大于 60%的梁，其裂缝宽度允许值为 0.3mm

D　悬臂梁的允许挠度较简支梁允许挠度值为小

11-13　关于预制厂中用台座生产工艺制作的预应力混凝土空心板，下列叙述中哪种是正确的？(　　)

Ⅰ. 预应力钢筋属于无黏结的；Ⅱ. 预应力钢筋属于有黏结的；Ⅲ. 属于先张法工艺；Ⅳ. 属于后张法工艺

A　Ⅰ、Ⅱ　　　　B　Ⅱ、Ⅲ

C　Ⅲ、Ⅳ　　　　D　Ⅰ、Ⅳ

11-14　以下关于钢筋混凝土现浇楼板中分布筋作用的叙述中，哪一种是错误的？(　　)

Ⅰ. 固定受力筋，形成钢筋骨架；Ⅱ. 将板上荷载传递到受力钢筋；Ⅲ. 防止由于温度变化和混凝土收缩产生裂缝；Ⅳ. 增强板的抗弯和抗剪能力

A　Ⅰ、Ⅱ　　　　B　Ⅱ、Ⅲ

C Ⅰ、Ⅲ　　D Ⅲ、Ⅳ

11-15 以下关于钢筋混凝土柱构造要求的叙述中，哪种是不正确的？(　　)

A 纵向钢筋沿周边布置　　B 纵向钢筋净距不小于 50mm

C 箍筋应形成封闭　　D 纵向钢筋配置越多越好

11-16 钢筋混凝土保护层的厚度是指(　　)。

A 最外层钢筋外皮至混凝土边缘的距离

B 纵向受力钢筋中心至混凝土边缘的距离

C 箍筋外皮到混凝土边缘的距离

D 箍筋中心至混凝土边缘的距离

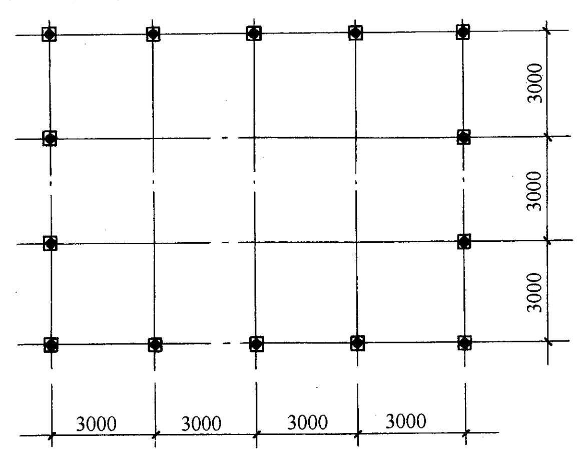
11-17 下图为矩形平面楼盖，周边柱距离为 3m，中部不设柱，为了取得最大净空，下列方案中哪一种最适宜？(　　)

A 沿 9m 方向 3m 间距布置梁，梁间为单向板

B 沿 12m 方向 3m 间距布置梁，梁间为单向板

C 沿 9m 方向按 3m 间距布置主梁，另一方向按 3m 间距布置次梁，梁间为双向板

D 沿两个方向按 3m 间距布置成井字梁，梁间距为双向板



题 11-17 图

11-18 决定钢筋混凝土柱承载能力的因素，哪一种是不存在的？(　　)

A 混凝土的强度等级　　B 钢筋的强度等级

C 钢筋的截面面积　　D 箍筋的肢数

11-19 下述有关钢筋混凝土梁的箍筋作用的叙述中，哪一项是不对的？(　　)

A 增强构件抗剪能力　　B 增强构件抗弯能力

C 稳定钢筋骨架　　D 增强构件的抗扭能力

11-20 混凝土保护层的作用哪一项是不对的？(　　)

A 防火　　B 防锈

C 增加黏结力　　D 便于装修

11-21 钢筋混凝土梁，为了减小弯曲产生的裂缝宽度，下列所述哪种措施无效？(　　)

A 提高混凝土强度等级　　B 加大纵向钢筋用量

C 加密箍筋　　D 将纵向钢筋改成较小直径

11-22 下列有关预应力钢筋混凝土的叙述中，哪项叙述是不正确的？(　　)

A 先张法靠钢筋与混凝土黏结力作用施加预应力

B　先张法适合于预制厂中制作中，小型构件

C　后张法靠锚固施加预应力

D　无黏结法预应力采用先张法

11-23　下列哪种措施可以减小混凝土的收缩？（　　）

A　增加水泥用量　　　　B　加大水灰比

C　提高水泥强度等级　　　　D　加强混凝土的养护

11-24　关于混凝土徐变的叙述，以下哪一项正确？（　　）

A　混凝土徐变是指缓慢发生的自身收缩

B　混凝土徐变是在长期不变荷载作用下产生的

C　混凝土徐变持续时间较短

D　粗骨料的含量与混凝土的徐变无关

11-25　粉煤灰硅酸盐水泥具有以下哪种特性？（　　）

A　水化热高　　　　B　早期强度低，后期强度发展高

C　保水性能差　　　　D　抗裂性能较差

11-26　箍筋配置数量适当的钢筋混凝土梁，其受剪破坏形式为下列中哪一种？（　　）

A　梁剪弯段中混凝土先被压碎，其箍筋尚未屈服

B　受剪斜裂缝出现后，梁箍筋立即达到屈服，破坏时以斜裂缝将梁分为两段

C　受剪斜裂缝出现并随荷载增加而发展，然后箍筋达到屈服，直到受压区混凝土达到破坏

D　受拉纵筋先屈服，然后受压区混凝土破坏

11-27　用于确定混凝土强度等级的立方体试件边长尺寸为（　　）。

A　200mm　　　　B　150mm

C　120mm　　　　D　100mm

11-28　无黏结预应力混凝土结构中的预应力钢筋，需具备下述中的哪几种性能？（　　）

Ⅰ. 较高的强度等级；Ⅱ. 一定的塑性性能；Ⅲ. 与混凝土间足够的黏结强度；Ⅳ. 低松弛性能

A　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　　　B　Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ

C　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ　　　　D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ

11-29　我国《混凝土结构设计规范》提倡的钢筋混凝土结构的主力钢筋是（　　）。

A　HPB300　　　　B　HRB335

C　HRBF335　　　　D　HRB400

11-30　规范规定：在严寒地区，与无侵蚀性土壤接触的地下室外墙最低混凝土强度等级为（　　）。

A　C25　　　　B　C30

C　C35　　　　D　C40

11-31　钢筋和混凝土两种材料能有效结合在一起共同工作，下列中哪种说法不正确？（　　）

A　钢筋与混凝土之间有可靠的黏结强度

B　钢筋与混凝土两种材料的混度线膨胀系数相近

C　钢筋与混凝土都有较高的抗拉强度

D　混凝土对钢筋具有良好的保护作用

11-32　受力预埋件的锚筋不应采用下列哪种钢筋？（　　）

A　HPB300 级钢筋　　　　B　HRB335 级钢筋

C　HRB400 级钢筋　　　　D　冷加工钢筋

11-33　预应力混凝土结构不宜采用下列中的哪种钢筋？（　　）

A　钢绞线　　　　B　消除应力钢丝

C　热轧钢筋　　　　D　预应力螺纹钢筋

11-34　某钢筋混凝土现浇板如右图所示，周边支承在梁上，受力钢筋配置如下，下列哪种配筋组合最为合适？（　　）

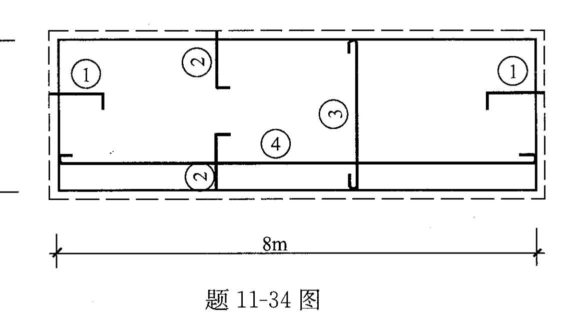
Ⅰ．板顶钢筋①；Ⅱ．板顶钢筋②；Ⅲ．板底钢筋③；Ⅳ．板底钢筋④

A　Ⅲ、Ⅳ

B　Ⅰ、Ⅲ

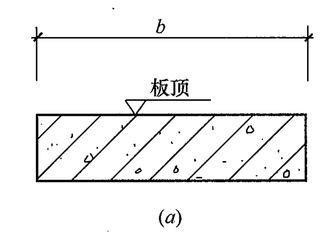
C　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

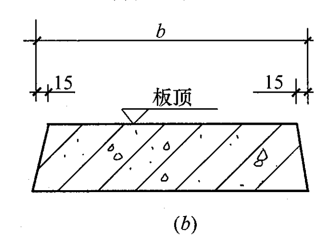


题 11-34 图

11-35　钢筋混凝土预制板，板长 1600mm，板宽 b，下述对预制板的认识，哪几种正确？（　　）



(a)



(b)

题 11-35 图

Ⅰ．预制板截面如图（a），板侧边不留小坡，便于支模；Ⅱ．预制板截面如图（b），板侧边留坡，美观需要；Ⅲ．预制板截面如图（b），板侧边留坡，便于辨认及利于灌缝；Ⅳ．取板宽 b=500mm，重量适度，有利于施工安装

A　Ⅰ　　　　B　Ⅱ

C　Ⅲ、Ⅳ　　　　D　Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

11-36　合理配置预应力钢筋，将有下述中哪几项作用？（　　）

Ⅰ．可提高构件的抗裂度；Ⅱ．可提高构件的极限承载能力；Ⅲ．可减小截面受压区高度，增加构件的转动能力；Ⅳ．可适当减小构件截面的高度

A　Ⅰ、Ⅱ　　　　B　Ⅰ、Ⅳ

C　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　　　D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

11-37　某工程位于平均相对湿度大于 60%的一类环境下，其钢筋混凝土次梁（以受弯为主）的裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值取下列何值为宜？（　　）

A　三级，0.2mm　　　　B　三级，0.3mm

C　三级，0.4mm　　　　D　二级，0.2mm

11-38　根据《混凝土结构设计规范》，在非抗震设计的钢筋混凝土剪力墙结构中，剪力墙的最小截面厚度要求为（　　）。

Ⅰ．墙厚 $t_w \geqslant 140$mm；Ⅱ．墙厚 $t_w \geqslant 160$mm；Ⅲ．墙厚 t_w 不宜小于楼层高度的 1/25；Ⅳ．墙厚 t_w 不宜小于楼层高度的 1/20

A　Ⅰ、Ⅲ　　　　B　Ⅰ、Ⅳ

C　Ⅱ、Ⅲ　　　　D　Ⅱ、Ⅳ

11-39　如图所示，某钢筋混凝土连梁截面 250mm×550mm，现浇钢筋混凝土楼板厚 100mm，梁上穿圆洞，其洞直径和洞位置以下列哪种配合符合规范要求？（　　）

A　梁高中线与洞中心重合，$d \leqslant 200$mm

B　洞顶贴板底，$d \leqslant 200$mm

C　梁高中线与洞中心重合，$d \leqslant 150$mm

D　洞顶贴板底，$d \leqslant 150\text{mm}$

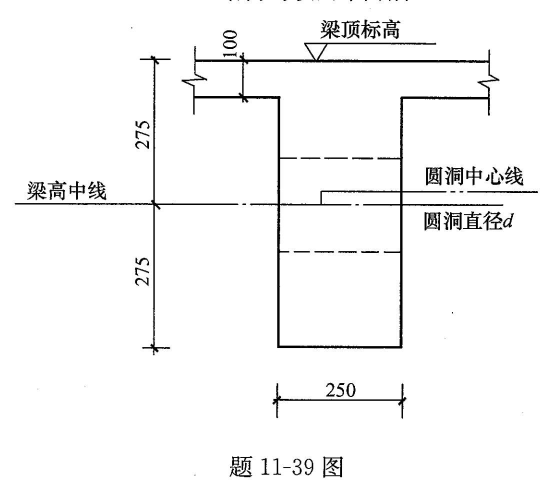
11-40　如图所示，某现浇钢筋混凝土框架—剪力墙结构，需留设施工后浇带，下列带宽 b 及其后浇时间的安排中哪项符合规范要求？（　　）

A　$b=800\text{mm}$，结构封顶两个月后

B　$b=800\text{mm}$，本层混凝土浇灌两个月后

C　$b=600\text{mm}$，本层混凝土浇灌两个月后

D　$b=600\text{mm}$，结构封顶两个月后



题 11-39 图

30m
b
55m

题 11-40 图

11-41　某工程采用现浇钢筋混凝土结构，其次梁（以受弯为主）计算跨度 $L_0=8.5\text{m}$，使用中对挠度要求较高，已知：其挠度计算值为 42.5mm，起拱值为 8.5mm，下述关于次梁的总挠度复核结论中哪项正确？（　　）

A　挠度 $f=42.5\text{mm}>L_0/250=34\text{mm}$，不满足规范要求

B　挠度 $f=42.5\text{mm}>L_0/300=28.3\text{mm}$，不满足规范要求

C　挠度 $f=42.5-8.5=34\text{mm}=L_0/250$，满足规范要求

D　挠度 $f=42.5-8.5=34\text{mm}>L_0/300=28.3\text{mm}$，不满足规范要求

11-42　根据《混凝土结构设计规范》，住宅建筑现浇单向简支楼板的最小厚度，不应小于（　　）。

A　60mm　　　　B　80mm

C　100mm　　　　D　120mm

11-43　钢筋混凝土双向密肋楼盖的肋间距，下列哪一种数值范围较为合理？（　　）

A　400～600mm　　　　B　700～1000mm

C　1200～1500mm　　　　D　1600～2000mm

11-44　在抗震设防 7 度区，A 级高度的框架—剪力墙结构的最大适用高宽比，下列中哪一个数值是恰当的？（　　）

A　4　　　　B　5

C　6　　　　D　7

11-45　框架结构抗震设计时，下列中哪一种做法是不正确的？（　　）

A　楼梯、电梯间应采用框架承重

B　凸出屋顶的机房应采用框架承重

C　不宜采用单跨框架结构

D　在底部，当局部荷载较大时，可采用另加砖墙承重

11-46　民用钢筋混凝土井式楼盖梁的高跨比，下列中哪一个数值范围是较常用的？（　　）

A $\frac{1}{10}\sim\frac{1}{12}$　　B $\frac{1}{12}\sim\frac{1}{14}$

C $\frac{1}{14}\sim\frac{1}{16}$　　D $\frac{1}{15}\sim\frac{1}{20}$

11-47 门式刚架的跨度不宜超过（　　）。

A 24m　　B 30m

C 36m　　D 42m

11-48 跨度大于30m的混凝土梁，选用下列中哪一种类型较为经济合理？（　　）

A 高宽比为4的矩形截面钢筋混凝土梁

B 钢骨混凝土梁

C 矩形截面预应力混凝土梁

D 箱形截面预应力混凝土梁

11-49 用于确定混凝土强度等级的立方体试件，其抗压强度保证率为（　　）。

A 100%　　B 95%

C 90%　　D 85%

11-50 设计中采用的钢筋混凝土适筋梁，其受弯破坏形式为（　　）。

A 受压区混凝土先达到极限应变而破坏

B 受拉区钢筋先达到屈服，然后受压区混凝土破坏

C 受拉区钢筋先达到屈服，直至被拉断，受压区混凝土未破坏

D 受拉区钢筋与受压区混凝土同时达到破坏

11-51 预应力混凝土结构的预应力钢筋强度等级要求较普通钢筋高，某主要原因是下述中的哪一条？（　　）

A 预应力钢筋强度除满足使用荷载作用所需外，还要同时满足受拉区混凝土的预压应力要求

B 使预应力混凝土构件获得更高的极限承载能力

C 使预应力混凝土结构获得更好的延性

D 使预应力钢筋截面减小而有利于布置

11-52 矿渣硅酸盐水泥具有以下哪种特性？（　　）

A 早期强度高，后期强度增进率小

B 抗冻性能好

C 保水性能好

D 水化热低

11-53 我国《混凝土结构设计规范》中，预应力钢绞线、消除应力钢丝的强度标准值由（　　）确定。

A 强度设计值　　B 屈服强度

C 极限抗压强度　　D 极限抗拉强度

11-54 下列中的哪种结构构件可以采用无黏结预应力筋作为受力钢筋？（　　）

A 悬臂大梁　　B 水下环境中的结构构件

C 高腐蚀环境中的结构构件　　D 板类构件

11-55 对于室内正常环境的预应力混凝土结构，设计使用年限为100年时，规范要求其混凝土最低强度等级为（　　）。

A C25　　B C30

C C35　　D C40

11-56 对后张法预应力混凝土，下列中哪一项不适用？（　　）

A 大型构件　　B 工厂预制的中小型构件

C　现浇构件　　　　　　　　　　　　D　曲线预应力钢筋

11-57　在混凝土内掺入适量膨胀剂，其主要目的为下列中的哪一项？（　　）

A　提高混凝土早期强度

B　减少混凝土干缩裂缝

C　延缓凝结时间，降低水化热

D　使混凝土在负温下水化，达到预期强度

11-58　当有防水要求时，高层建筑地下室外墙混凝土强度等级和抗渗等级除按计算确定外分别不应小于（　　）。

A　C30，0.4MPa　　　　　　　　　B　C30，0.6MPa

C　C35，0.6MPa　　　　　　　　　D　C35，0.8MPa

11-59　钢筋混凝土框架—剪力墙（筒体）结构，墙体布置采用下列方式，在其他条件不变的情况下，结构纵向抗侧刚度的大小顺序，下列中的哪种排列是正确的？（　　）

Ⅰ　　　　Ⅱ　　　　Ⅲ

题 11-59 图

A　Ⅰ＞Ⅱ＞Ⅲ　　　　　　　　　B　Ⅱ＞Ⅲ＞Ⅰ

C　Ⅲ＞Ⅱ＞Ⅰ　　　　　　　　　D　Ⅰ＞Ⅲ＞Ⅱ

11-60　某单跨钢筋混凝土框架如图所示，梁顶、底面配筋相同，当 P 增加时，首先出现裂缝的是在下列中的哪一处？（　　）

A　梁左端上表面　　　　　　　　B　梁右端上表面

C　梁左端下表面　　　　　　　　D　梁右端下表面

11-61　对于图示某钢筋混凝土悬挑雨篷（挑板式），下列表述中哪些是正确的？（　　）

Ⅰ. 上表面无防水措施，负筋①要考虑露天环境的影响；Ⅱ. 上表面无防水措施，负筋①不要考虑露天环境的影响；Ⅲ. 建筑外防水对结构配筋没有影响；Ⅳ. 建筑外防水对结构配筋有影响

A　Ⅰ、Ⅲ　　　　　　　　　　　B　Ⅱ、Ⅲ

C　Ⅰ、Ⅳ　　　　　　　　　　　D　Ⅱ、Ⅳ

q　P　300×500　300×500　300×500　6m　6m

①

题 11-60 图　　　　　　　　　　题 11-61 图

11-62　混凝土强度等级是根据下列何项确定的？（　　）

A　立方体抗压强度标准值　　　　B　立方体抗压强度设计值

C　圆柱体抗压强度标准值　　　　D　圆柱体抗压强度设计值

11-63　钢筋混凝土结构当采用 HRB400 级钢筋时，混凝土强度等级不宜低于（　　）。

A C15　　B C20

C C25　　D C30

11-64 控制混凝土的碱含量，其作用是（　　）。

A 减小混凝土的收缩　　B 提高混凝土的耐久性

C 减小混凝土的徐变　　D 提高混凝土的早期强度

11-65 对于热轧钢筋（如 HRB335），其强度标准值取值的依据是（　　）。

A 弹性极限强度　　B 屈服极限强度

C 极限抗拉强度　　D 断裂强度

11-66 钢管混凝土构件在纵向压力作用下，关于其受力性能的描述，下列何项是错误的？（　　）

A 延缓了核心混凝土受压时的纵向开裂

B 提高了核心混凝土的塑性性能

C 降低了核心混凝土的承载力，但提高了钢管的承载力

D 提高了钢管管壁的稳定性

11-67 钢筋与混凝土之间的黏结强度与下列哪些因素有关？（　　）

Ⅰ. 混凝土强度等级　　Ⅱ. 混凝土弹性模量

Ⅲ. 混凝土保护层厚度　　Ⅳ. 钢筋表面粗糙程度

Ⅴ. 钢筋强度标准值

A Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　B Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ

C Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ　　D Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ

11-68 下列哪种钢筋不宜用作预应力钢筋？（　　）

A 钢绞线　　B 冷轧钢筋

C 预应力螺纹钢筋　　D 消除应力钢丝

11-69 为控制大体积混凝土的裂缝，采用下列何项措施是错误的？（　　）

A 选用粗骨料　　B 选用快硬水泥

C 掺加缓凝剂　　D 减少水泥用量，降低水灰比

11-70 下列关于预应力混凝土的论述何项是错误的？（　　）

A 无黏结预应力采用后张法施工

B 水下环境中的结构构件应采用有黏结预应力

C 中等强度钢筋不适用作为预应力筋，是由于其有效预应力低

D 施加预应力的构件，抗裂性提高，故在使用阶段都是不开裂的

11-71 下列关于钢筋混凝土性质的叙述，哪一项是错误的？（　　）

A 混凝土收缩与水泥标号、水泥用量有关

B 混凝土裂缝宽度与钢筋直径、混凝土强度等级、保护层厚度有关

C 钢筋强度越高，在混凝土中的锚固长度可越短

D 钢筋和混凝土共同工作，钢筋主要受拉，混凝土主要受压

11-72 因结构超长需在楼板内设置预应力钢筋，其设置部位何项正确？（　　）

A 设在板顶部　　B 设在板底部

C 设在板厚中部　　D 跨中设在板顶，支座设在板底

11-73 关于先张法预应力混凝土的表述下列何者正确？（　　）

Ⅰ. 在浇灌混凝土前张拉钢筋

Ⅱ. 在浇灌混凝土后张拉钢筋

Ⅲ. 在台座上张拉钢筋

Ⅳ. 在构件端部混凝土上直接张拉钢筋

A Ⅰ+Ⅲ　　B Ⅰ+Ⅳ

C Ⅱ+Ⅲ　　D Ⅱ+Ⅳ

11-74 我国确定混凝土强度等级采用的标准试件为（　　）。

A 直径 150mm、高 300mm 的圆柱体

B 直径 300mm、高 150mm 的圆柱体

C 边长为 150mm 的立方体

D 边长为 300mm 的立方体

11-75 下列关于混凝土收缩的叙述，哪一项是正确的？（　　）

A 水泥标号越高，收缩越小　　B 水泥用量越多，收缩越小

C 水胶比越大，收缩越大　　D 环境温度越低，收缩越大

11-76 预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于（　　）。

A C20　　B C30

C C35　　D C40

11-77 热轧钢筋经过冷拉之后，其强度和变形性能的变化是（　　）。

A 抗拉强度提高，变形性能提高

B 抗拉强度提高，变形性能降低

C 抗拉强度、变形性能不变

D 抗拉强度提高，变形性能不变

11-78 下列哪一组性能属于钢筋的力学性能？（　　）

Ⅰ. 拉伸性能　　Ⅱ. 塑性性能　　Ⅲ. 冲击韧性

Ⅳ. 冷弯性能　　Ⅴ. 焊接性能

A Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　B Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

C Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ　　D Ⅰ、Ⅱ、Ⅵ

11-79 当采用钢绞线作为预应力钢筋时，混凝土强度等级不宜低于（　　）。

A C25　　B C30

C C35　　D C40

11-80 钢筋混凝土构件保护层厚度在设计时可不考虑下列何项因素？（　　）

A 钢筋种类　　B 混凝土强度等级

C 构件使用环境　　D 构件类别

11-81 钢筋混凝土结构构件的配筋率计算与以下哪项因素无关？（　　）

A 构件截面高度　　B 构件的跨度

C 构件的钢筋面积　　D 构件截面宽度

11-82 下列对先张法预应力混凝土结构和构件的描述何项不正确？（　　）

A 适用于工厂批量生产　　B 适用于方便运输的中小型构件

C 适用于曲线预应力钢筋　　D 施工需要台座设施

11-83 控制和减小钢筋混凝土结构构件裂缝宽度的措施，下列何项错误？（　　）

A 采用预应力技术

B 在相同配筋率下，采用较大直径钢筋

C 提高配筋率

D 采用带肋钢筋

11-84 在室内正常环境下，钢筋混凝土构件的最大允许裂缝宽度为下列何值？（　　）

A 0.003mm　　B 0.03mm

C 0.3mm　　D 3mm

11-85 对钢筋混凝土构件施加预应力的目的为下列何项？（　　）

A 提高构件的极限承载力　　B 提高构件的抗裂度和刚度

C 提高构件的耐久性　　D 减小构件的徐变

11-86 下列对钢骨混凝土柱中钢骨与混凝土作用的分析，何项不正确？（　　）

A 增加钢骨可以提高柱子的延性

B 增加钢骨可以提高柱子的抗压承载力

C 钢骨的主要作用在于提高柱子的抗弯承载力

D 外围混凝土有利于钢骨柱的稳定

11-87 对钢管混凝土柱中混凝土作用的描述，下列何项不正确？（　　）

A 有利于钢管柱的稳定　　B 提高钢管柱的抗压承载力

C 提高钢管柱的耐火极限　　D 提高钢管柱的抗拉承载力

11-88 对钢筋混凝土结构超长而采取的下列技术措施何项不正确？（　　）

A 采取有效的保温隔热措施　　B 加大屋顶层混凝土楼板的厚度

C 楼板中增设温度钢筋　　D 板中加设预应力钢筋

11-89 关于后张有黏结预应力混凝土的下述理解，何者正确？（　　）

Ⅰ. 需要锚具传递预应力　　Ⅱ. 不需要锚具传递预应力

Ⅲ. 构件制作时必须预留孔道　　Ⅳ. 张拉完毕不需要进行孔道灌浆

A Ⅰ、Ⅲ　　B Ⅰ、Ⅳ

C Ⅱ、Ⅲ　　D Ⅱ、Ⅳ

参考答案

11-1 D	11-2 C	11-3 C	11-4 C	11-5 C	11-6 A
11-7 A	11-8 C	11-9 D	11-10 A	11-11 A	11-12 D
11-13 B	11-14 D	11-15 D	11-16 C	11-17 D	11-18 D
11-19 B	11-20 D	11-21 C	11-22 D	11-23 D	11-24 B
11-25 B	11-26 C	11-27 B	11-28 D	11-29 D	11-30 B
11-31 C	11-32 D	11-33 C	11-34 D	11-35 C	11-36 B
11-37 B	11-38 A	11-39 C	11-40 B	11-41 D	11-42 A
11-43 B	11-44 C	11-45 D	11-46 D	11-47 C	11-48 C
11-49 B	11-50 B	11-51 A	11-52 C	11-53 D	11-54 D
11-55 D	11-56 B	11-57 B	11-58 B	11-59 C	11-60 C
11-61 C	11-62 A	11-63 C	11-64 B	11-65 B	11-66 C
11-67 B	11-68 B	11-69 B	11-70 D	11-71 C	11-72 C
11-73 A	11-74 C	11-75 C	11-76 B	11-77 B	11-78 D
11-79 D	11-80 A	11-81 B	11-82 C	11-83 B	11-84 C
11-85 B	11-86 C	11-87 D	11-88 B	11-89 A	

第十二章　钢结构设计

第一节　钢结构的特点和应用范围

钢结构通常由钢板和型钢等制成的柱、梁、桁架、板等构件组成，各部分之间用焊缝、螺栓或铆钉连接，是主要的建筑结构之一。

一、钢结构的特点

和其他材料的结构相比，钢结构具有如下特点：

（一）钢材的强度高，结构的重量轻

钢材的容重虽然比其他建筑材料大，但它的强度很高，同样受力情况下，钢结构自重小，可以做成跨度较大的结构。

（二）钢材的塑性韧性好

钢材的塑性好，结构在一般情况下不会因偶然超载或局部超载而突然断裂。钢材的韧性好，使结构对动荷载的适应性较强。

（三）钢材的材质均匀，可靠性高

钢材内部组织均匀、各向同性。钢结构的实际工作性能与所采用的理论计算结果符合程度好，因此，结构的可靠性高。

（四）钢材具有可焊性

由于钢材具有可焊性，使钢结构的连接大为简化，适应于制造各种复杂形状的结构。

（五）钢结构制作、安装的工业化程度高

钢结构的制作主要是在专业化金属结构厂进行，因而制作简便，精度高。制成的构件运到现场安装，装配化程度高，安装速度快，工期短。

（六）钢结构的密封性好

钢材内部组织很致密，当采用焊接连接，甚至采用铆钉或螺栓连接时，都容易做到紧密不渗漏。

（七）钢结构耐热，不耐火

当钢材表面温度在150℃以内时，钢材的强度变化很小，因此钢结构适用于热车间。当温度超过150℃时，其强度明显下降。当温度达到500～600℃时，强度几乎为零。所以，发生火灾时，钢结构的耐火时间较短，会发生突然的坍塌。对有特殊要求的钢结构，要采取隔热和耐火措施。

（八）钢材的耐腐蚀性差

钢材在潮湿环境中，特别是处于有腐蚀性介质环境中容易锈蚀，需要定期维护，增加了维护费用。

二、钢结构的应用范围

（一）大跨度结构

结构跨度越大，自重在全部荷载中所占比重也就越大，减轻结构自重可以获得明显的经济效果。钢结构强度高而重量轻，特别适合于大跨结构，如大会堂、体育馆、飞机装配车间以及铁路、公路桥梁等。

（二）重型工业厂房结构

在跨度、柱距较大，有大吨位吊车的重型工业厂房以及某些高温车间，可以部分采用钢结构（如钢屋架、钢吊车梁）或全部采用钢结构（如冶金厂的平炉车间，重型机器厂的铸钢车间，造船厂的船台车间等）。

（三）受动力荷载影响的结构

设有较大锻锤或产生动力作用的厂房，或对抗震性能要求高的结构，宜采用钢结构，因钢材有良好的韧性。

（四）高层建筑和高耸结构

当房屋层数多和高度大时，采用其他材料的结构，给设计和施工增加困难。因此，高层建筑的骨架宜采用钢结构。

高耸结构包括塔架和桅杆结构，如高压电线路的塔架、广播和电视发射用的塔架、桅杆等，宜采用钢结构。

（五）可拆卸的移动结构

需要搬迁的结构，如建筑工地生产和生活用房的骨架、临时性展览馆等，用钢结构最为适宜，因钢结构重量轻，而且便于拆装。

（六）容器和其他构筑物

冶金、石油、化工企业大量采用钢板制作容器，包括油罐、气罐、热风炉、高炉等。此外，经常使用的还有皮带通廊栈桥、管道支架等钢构筑物。

（七）轻型钢结构

当荷载较小时，小跨度结构的自重也就成为一个重要因素，这时采用钢结构较为合理。这类结构多用圆钢、小角钢或冷弯薄壁型钢制作。

第二节　钢 结 构 的 材 料

一、钢材的主要机械性能指标

钢结构在使用过程中要受到各种形式的作用，这就要求钢材必须具有抵抗各种作用而不产生过大变形和不会引起破坏的能力。钢材在各种作用下所表现出的各种特征，如弹性、塑性、强度，称为钢材的机械性能。钢材的主要机械性能指标有 5 项，即抗拉强度、伸长率、屈服强度、冷弯性能和冲击韧性，这都是通过试验得到的。

钢材的单向均匀受拉应力应变曲线提供了前三项机械性能指标。抗拉强度（用符号 f 表示）是钢材的一项强度指标，它反映钢材受拉时所能承受的极限应力，是检验钢材质量的重要指标；当以钢材屈服强度作为静力强度计算依据时，抗拉强度成为结构的安全储备。伸长率（用符号 δ_5 或 δ_{10} 表示）是衡量钢材在静荷载作用下塑性性能的指标。屈服强度（也称屈服点，用符号 f_y 表示）是钢结构设计中静力强度计算的依据，它是衡量钢材

的承载能力及确定钢材抗拉、抗压、抗弯强度设计值的一项重要指标。通过冷弯试验得到对钢材性能要求的第四项指标——冷弯性能，它是衡量钢材的塑性性能和检验钢材质量优劣的一个综合指标。通过冲击试验得到对钢材性能要求的第五项指标——冲击韧性，它是衡量钢材抵抗可能因低温、应力集中、动力荷载作用而导致脆性断裂能力的一项指标。满足冲击韧性的要求是个比较严格的指标，实际上只有承受荷载较大、使用较频繁的动力荷载的结构，特别是焊接结构，才需要有冲击韧性的保证。

二、影响钢材机械性能的主要因素

钢结构有性质完全不同的两种破坏形式，即塑性破坏和脆性破坏。塑性破坏的主要特征是具有较大的、明显可见的塑性变形，且仅在构件中的应力达到抗拉强度后才发生。由于塑性破坏前有明显的预兆，能及时发现而采取补救措施，因此，实际上结构是极少发生塑性破坏的。脆性破坏的特征是破坏前的塑性变形很小，甚至没有塑性变形，构件截面上的平均应力比较低（低于屈服点）。由于脆性破坏前无任何预兆，无法及时察觉予以补救，所以危险性极大。讨论影响钢材机械性能的因素时，应特别注意导致钢材变脆的因素。

（一）化学成分的影响

碳素钢中，铁元素含量约占99%，其他元素有碳、磷、氮、硫、氧、锰、硅等，它们的总和约占1%。低合金钢中，除上述元素外，还有合金元素，其含量小于或等于5%。尽管碳和其他元素含量很小，但对钢材的机械性能却有着极大的影响。

普通碳素结构钢中，碳是除铁以外的最主要元素。随着含碳量的增加，钢材的强度提高，塑性、冲击韧性下降，冷弯性能、可焊性和抗锈蚀性能变差。因此，虽然碳是钢材获得足够强度的主要元素，但钢结构中，特别是焊接结构，并不采用含碳量高的钢材。现行《钢结构设计规范》GB 50017—2003（以下简称《钢结构规范》）推荐的钢材，在焊接结构中，含碳量一般控制在0.12%～0.2%之间。

磷、氮、硫和氧是有害的杂质元素。随着磷、氮含量的增加，钢材的强度提高，塑性、冲击韧性严重下降，特别是在温度较低时促使钢材变脆（称冷脆），磷还会降低钢材的可焊性。硫和氧的含量增加会降低钢材的热加工性能，并降低钢材的塑性、冲击韧性，硫还会降低钢材的可焊性和抗锈蚀性能。所以，对磷、氮、硫和氧的含量应严格加以限制（均不超过0.05%）。

锰和硅是有益的杂质元素，能起到脱氧的作用，当含量适中时，能提高钢材的强度，而对塑性和冲击韧性无明显影响。

（二）冶炼、浇铸的影响

我国目前钢结构用的钢，主要是由平炉和氧气转炉冶炼而成的。这两种冶炼方法炼制的钢，质量大体相当。

钢材冶炼后按浇铸方法（也称脱氧方法）的不同而分为沸腾钢、镇静钢、半镇静钢和特殊镇静钢。沸腾钢采用锰铁作脱氧剂，脱氧不完全，钢材质量较差，但成本低；镇静钢用锰铁加硅或铝脱氧，脱氧较彻底，材质好，但成本较高；半镇静钢脱氧程序、质量和成本介于沸腾钢和镇静钢之间；特殊镇静钢的脱氧程序比镇静钢更高，质量最好，但成本也最高。

（三）应力集中的影响

当构件截面的完整性遭到破坏，如开孔、截面改变等，构件截面的应力分布不再保持

均匀，在截面缺陷处的附近产生高峰应力，而截面其他部分应力则较低，这种现象称为应力集中（图 12-1）。应力集中是导致钢材发生脆性破坏的主要因素之一。试验表明，截面改变越突然、尖锐程度越大的地方，应力集中越严重，引起脆性破坏的危险性就越大。因此，在结构设计中应使截面的构造合理。如截面必须改变时，要平缓过渡。构件制造和施工时，应尽可能防止造成刻槽等缺陷。

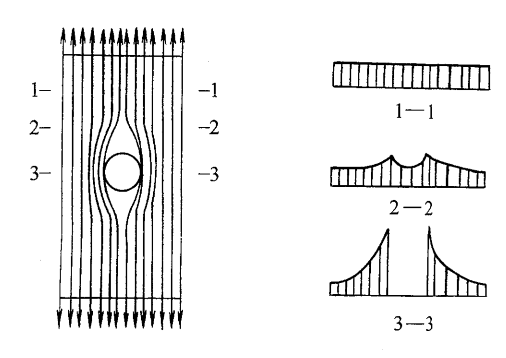


图 12-1　带圆孔试件的应力集中

（四）温度的影响

钢材在正温范围内，约在 100℃以上时，随着温度的升高，钢材的强度降低，塑性增大。在 250℃左右，钢材的抗拉强度有所提高，而塑性下降，这种现象称为冷脆现象，钢结构不宜在该温度范围内加工。温度达到 500～600℃时，强度几乎为零。因此，当结构表面经常受较高的辐射热（150℃以上）时，应采取隔热措施，如加挡板或设循环水管等，加以保护。为提高钢结构耐火时间，可在构件上按需要涂不同厚度的防火涂料。

当温度低于常温时，随着温度的下降，钢材的强度有所提高，而塑性和冲击韧性下降，当温度下降到某一负温值时，钢材的塑性和冲击韧性急剧降低，这种现象称为钢材的低温冷脆现象（简称冷脆）。因此，处于低温条件下的结构，应选择耐低温性能比较好的钢材，如镇静钢，低合金结构钢。

（五）钢材硬化的影响

钢材的硬化包括时效硬化和冷作硬化。时效硬化是指高温时溶化于铁中的少量氮和碳，随时间的增长逐渐从固溶体中析出，形成氮化物或碳化物，对钢材的塑性变形起遏制作用，从而使钢材强度提高、塑性和冲击韧性下降。冷作硬化（也称应变硬化）是指钢材在间歇重复荷载作用下，钢材的弹性区扩大，屈服点提高，而塑性和冲击韧性下降。钢结构设计中，不考虑硬化后强度提高的有利影响，相反，对重要的结构或构件要考虑硬化后塑性和冲击韧性下降的不利影响。

（六）焊接影响

焊接连接时，由于焊缝及其附近的高温区的金属经过高温和冷却的过程，金属内部组织发生了变化，使钢材变脆变硬。同时，焊接还会产生焊接缺陷和焊接应力，也是促使钢材发生脆性破坏的因素。

大量的脆性破坏事故说明，事故的发生经常是几种因素的综合。根据具体情况正确选用钢材是从根本上防止脆性破坏的办法，同时也要在设计、制造和使用上注意消除促使钢材向脆性转变的因素。

三、钢材的种类、选择和规格

（一）钢材的种类

《钢结构规范》推荐的承重结构用钢材有普通碳素结构钢（简称碳素钢）和普通低合金结构钢（简称低合金钢）两种。

1. 碳素钢

我国生产的专用于结构的碳素钢 Q235（Q 是屈服点的汉语拼音首位字母，数值表示

钢材的屈服点，单位 N/mm^2）。钢结构用钢材主要是 Q235，其含碳量和强度、塑性、加工性能等均适中。碳素钢牌号的全部表示是 Q×××后附加质量等级和脱氧方法符号，如 Q235—A·F、Q235—C 等。Q235 钢共分为 A、B、C、D 四个质量等级（A 级最差，D 级最好）。A、B 级钢按脱氧方法分为沸腾钢（符号 F）、半镇静钢（符号 b）或镇静钢（符号 Z），C 级为镇静钢，D 级为特殊镇静钢（符号 TZ）；Z 和 TZ 在牌号中省略不写。

2. 低合金钢

低合金钢是在冶炼碳素钢时加一种或几种适量合金元素，以提高钢材强度、冲击韧性等而又不太降低其塑性。

低合金钢的牌号表示方法是：自左向右依次列出其平均含碳量的万分数，合金元素的名称（或符号）及含量的百分数，当合金元素平均含量小于 1.5%时不注明其含量，达到或超过 1.5%用整数注明其含量。钢结构常用的低合金钢有：16Mn（平均含碳量万分十六，合金元素锰，合金元素平均含量小于 1.5%）、16Mnq（q ——桥梁用钢）和 15MnV（15 锰钒）、15MnVq。

在受力大的承重钢结构中采用低合金钢，可较 Q235 钢节约钢材 15%～25%。

（二）钢材的选择

选择钢材的目的是要在保证结构安全可靠的基础上，经济合理地使用钢材。通常要考虑：

1. 选择钢材的依据

（1）结构或构件的重要性；

（2）荷载性质：静力荷载或动力荷载；

（3）连接方法：焊接、铆钉或螺栓连接；

（4）工作条件：温度及腐蚀介质。

2. 建筑钢结构的选材要求

（1）承重结构用钢材宜采用 Q235 钢、Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢，其质量应符合现行标准的规定。

（2）下列情况的承重结构和构件不应采用 Q235 沸腾钢：

1）焊接结构。直接承受动力荷载或振动荷载，且需要验算疲劳的结构；工作温度低于－20℃时的直接承受动力荷载或振动荷载、但可不验算疲劳的结构，以及承受静力荷载的受弯及受拉的重要承重结构；工作温度等于或低于－30℃的所有承重结构。

2）非焊接结构。工作温度等于或低于－20℃的直接承受动力荷载且需要验算疲劳的结构。

3. 承重结构采用的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量的合格保证，对焊接结构尚应具有碳含量的合格保证。

焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构采用的钢材还应具有冷弯试验的合格保证。

对于需要验算疲劳的焊接结构的钢材，应具有常温冲击韧性的合格保证。当结构工作温度不高于 0℃但高于－20℃时，Q235 钢和 Q345 钢应具有 0℃冲击韧性的合格保证；对 Q390 钢和 Q420 钢应具有－20℃冲击韧性的合格保证。当结构工作温度不高于－20℃时，对 Q235 钢和 Q345 钢应具有－20℃冲击韧性的合格保证；对 Q390 钢和 Q420 钢应具有－40℃冲击韧性的合格保证。

对于需要验算疲劳的非焊接结构的钢材亦应具有常温冲击韧性的合格保证。当结构工作温度不高于−20℃时，对Q235钢和Q345钢应具有0℃冲击韧性的合格保证；对Q390钢和Q420钢应具有−20℃冲击韧性的合格保证。

吊车起重量不小于50t的中级工作制吊车梁，对钢材冲击韧性的要求应与需要验算疲劳的构件相同。

（三）钢材的规格

钢结构所用钢材主要有热轧成型的钢板和型钢以及冷弯成型的薄壁型钢。

1. 钢板

钢板分厚钢板、薄钢板和扁钢。其规格为：

厚钢板：厚度4.5～60mm，宽度600～3000mm，长度4～12m；

薄钢板：厚度0.35～4mm，宽度500～1500mm，长度0.5～4m；

扁钢：厚度4～60mm，宽度12～200mm，长度3～9m。

钢板通常用“—”后面加“宽度×厚度×长度”表示。如—600×10×12000表示为600mm宽、10mm厚、12m长的钢板。

2. 型钢

型钢可以直接用作构件，以减少加工制造工作量，在设计中应优先选用。常用的型钢有：角钢、槽钢、工字钢和钢管（图12-2）。

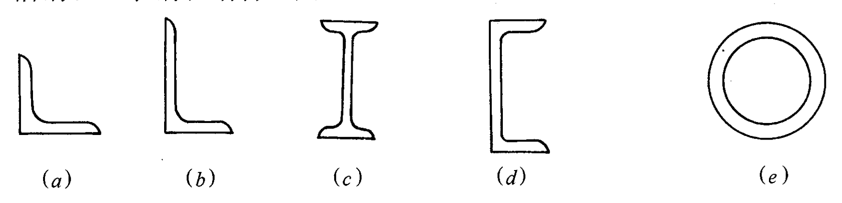


图12-2　型钢的截面形式

(a) 等肢角钢；(b) 不等肢角钢；(c) 工字钢；(d) 槽钢；(e) 钢管

角钢，有等肢的和不等肢的两种。等肢角钢以肢宽和厚度表示，如L100×10为肢宽100mm，厚10mm的等肢角钢。不等肢角钢则以两肢宽度和厚度表示，如L100×80×8为长肢宽100mm、短肢宽80mm，厚度为8mm的角钢。角钢长度一般为8～19m。

槽钢，用号数表示，号数即为其高度的厘米数。号数20以上还附以字母a或b或c以区别腹板厚度，如[32a即高度为320mm、腹板为较薄的槽钢。槽钢有普通槽钢和轻型槽钢两种。槽钢长度一般为5～19m。

工字钢和槽钢一样用号数表示，20号以上也附以区别腹板厚度的字母。用工40c即高度为400mm、腹板为较厚的工字钢。常用的工字钢有普通工字钢和轻型工字钢两种。工字钢长度一般为5～19m。

钢管用“ϕ”后面加“外径×厚度”表示，如：ϕ102×5即外径102mm，壁厚5mm的钢管。钢管有无缝钢管和焊接钢管两种。钢管长度一般为3～10m。

设计时不宜采用：厚度小于4mm的钢板；

壁厚小于3mm的钢管；

截面小于L45×4、L56×36×4的角钢（焊接时）或L50×5的角钢（螺栓连接时）。

3. 薄壁型钢

薄壁型钢是用 1.5～5mm 厚的薄板经模压或弯曲成型。我国目前生产的薄壁型钢的截面形式如图 12-3 所示。

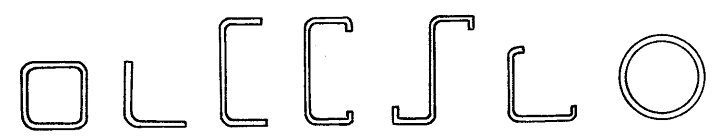


图 12-3　薄壁型钢的截面形式

从《钢结构规范》表 3.4.1-1 中可看出，钢材的强度设计值中，抗拉、抗压和抗弯三者的强度设计值相同，抗剪强度设计值最低，端面承压（刨平顶紧）的强度设计值最高。

（四）焊条型号

根据《钢结构规范》第 3.4.1 条表 3.4.1-3，当钢材采用 Q235 时，焊条型号应采用 E43；当钢材为 Q345 时，焊条用 E50；当钢材为 Q390、Q420 时，焊条用 E55。

第三节　钢结构的计算方法与基本构件设计

一、钢结构的计算方法

钢结构和混凝土结构、砌体结构一样，它的设计也是要求结构或构件满足承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求。

（一）承载能力极限状态

采用以概率理论为基础的极限状态设计方法（疲劳问题除外），用分项系数设计表达式进行计算，计算内容有强度和稳定（包括整体稳定、局部稳定）。但钢结构的设计表达式则采用应力形式，即

$$\gamma_0\sigma_d \leqslant f_d \qquad (12\text{-}1)$$

式中　γ_0——结构重要性系数，对安全等级为一级、二级、三级的结构构件可分别取 1.1、1.0、0.9（一般工业与民用建筑钢结构的安全等级应取为二级）；

σ_d——荷载（包括永久荷载和可变荷载）的设计值在结构构件截面或连接中产生的应力效应；

f_d——结构构件或连接的强度设计值。

《钢结构规范》给出了材料强度设计值，计算时可直接查用（见《钢结构规范》第 3.4.1、3.4.2 条）。

（二）正常使用极限状态

钢结构或构件按正常使用极限状态设计时，应考虑荷载的短期效应组合，其表达式为：

$$\nu_k \leqslant [\nu] \qquad (12\text{-}2)$$

式中　ν_k——荷载（包括永久荷载和可变荷载）的标准值在结构或构件中产生的变形值；

$[\nu]$——结构或构件的容许变形值。

钢结构设计规范给出了结构或构件的容许变形值，计算时直接查用（见《钢结构规范》附录 A）。

二、基本构件设计

钢结构的基本构件有轴心受力构件、受弯构件和拉弯、压弯构件。

(一) 轴心受力构件

1. 轴心受力构件的应用和截面形式

轴心受力构件包括轴心受拉构件和轴心受压构件，也包括轴心受压柱。

在钢结构中，屋架、托架、塔架和网架等各种类型的平面或空间桁架以及支撑系统，通常均为轴心受拉和轴心受压构件组成。工作平台、多层和高层房屋骨架的柱、承受梁或桁架传来的荷载、当荷载为对称布置且不考虑水平荷载时，属于轴心受压柱。柱通常由柱头、柱身和柱脚三部分组成（图 12-4）。

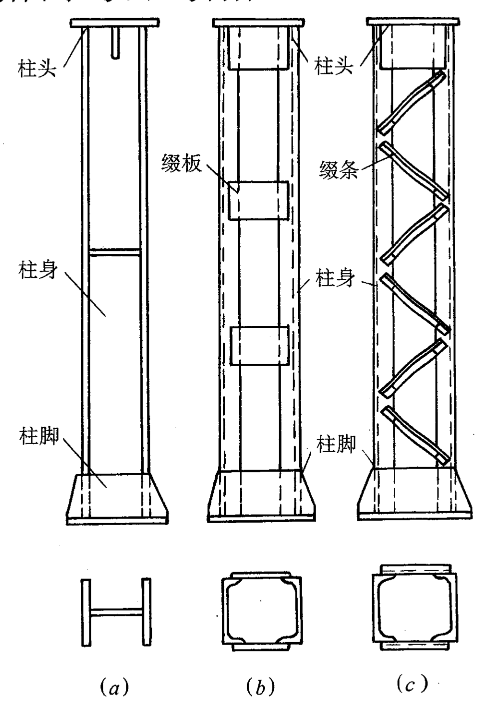


图 12-4 柱组成

(a) 实腹式柱；(b) 格构式柱（缀板式）；(c) 格构式柱（缀条式）

在普通桁架、塔架、网架及其支撑系统中的杆件常采用图 12-5 所示的截面形式。轴心受压柱以及受力较大的轴心受力构件采用图 12-6 所示的截面形式，其中图 12-6 (*a*) 为实腹式构件，图 12-6 (*b*) 为格构式构件。

2. 轴心受拉构件的计算

设计轴心受拉构件时，根据结构的用途、构件受力大小和材料供应情况选用合理的截面形式。轴心受拉构件的计算包括强度和刚度两方面的内容。

图 12-5 普通桁架杆件的截面形式

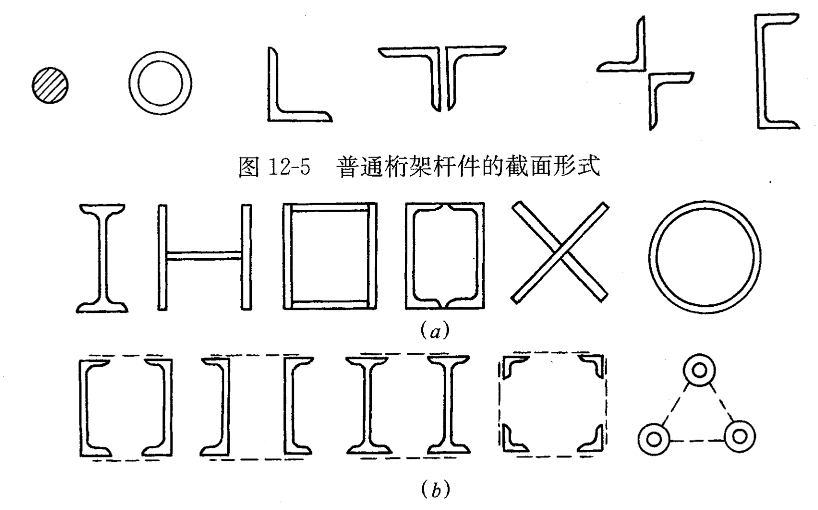


图 12-6 柱和重型桁架杆件的截面形式

(1) 强度

轴心受拉构件的强度按下式计算：

$$\sigma=\frac{N}{A_n}\leqslant f \tag{12-3}$$

式中 N——轴心拉力设计值；

A_n——构件净截面面积；

f——钢材抗拉强度设计值。

（2）刚度

轴心受拉构件的刚度通常用长细比 λ 来衡量，长细比是构件的计算长度 l_0 与构件截面回转半径 i 的比值，即 $\lambda=l_0/i$。λ 愈小，构件刚度愈大，反之则刚度愈小。在材料力学中，$i=\sqrt{\frac{I}{A}}$。

λ 过大会使构件在使用过程中由于自重发生挠曲，在动荷载作用下容易产生振动，在运输和安装过程中容易产生弯曲。因此，设计时应使构件最大长细比不超过规定的容许长细比，即：

$$\lambda\leqslant[\lambda] \tag{12-4}$$

式中 $[\lambda]$ ——构件容许长细比，按表 12-1 采用。

受拉构件的容许长细比 **表 12-1**

项次	构件名称	承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构		直接承受动力荷载的结构
		一般建筑结构	有重级工作制吊车的厂房	
1	桁架的杆件	350	250	250
2	吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑	300	200	—
3	其他拉杆、支撑、系杆等（张紧的圆钢除外）	400	350	—

注：1. 承受静力荷载的结构中，可仅计算受拉构件在竖向平面内的长细比；

2. 在直接或间接承受动力荷载的结构中，单角钢受拉构件长细比的计算方法应采用角钢的最小回转半径，但计算在交叉点相互连接的交叉杆件平面外的长细比时，可采用与角钢肢边平行轴的回转半径；

3. 中、重级工作制吊车桁架下弦杆的长细比不宜超过 200；

4. 在设有夹钳或刚性料耙等硬钩吊车的厂房中，支撑（表中第 2 项除外）的长细比不宜超过 300；

5. 受拉构件在永久荷载与风荷载组合作用下受压时，其长细比不宜超过 250；

6. 跨度≥60m 的桁架，其受拉弦杆和腹杆的长细比不宜超过 300（承受静力荷载或间接承受动力荷载）或 250（直接承受动力荷载）。

3. 实腹式轴心受压构件的计算

实腹式轴心受压构件的计算包括强度、整体稳定、局部稳定和刚度四个方面的内容。

（1）强度

轴心受压构件的强度计算公式同轴心受拉构件一样，采用公式（12-3），但式中 N 为轴心压力设计值，f 为钢材抗压强度设计值。

（2）整体稳定

1）概述

轴心受压构件，除构件很短及有孔洞等削弱时可能发生强度破坏外，往往当荷载还没有达到按强度考虑的极限值时，构件就会因屈曲而丧失承载力，即整体失稳破坏。稳定问题是钢结构中的一个突出问题，设计时应给予极大的重视。

材料力学中讨论了理想的轴心受压杆的整体稳定计算，但实际工程中并不存在这种理

想的压杆。实际工程中的轴心受压构件常受到以下主要的不利因素的影响：

①初始缺陷

初始缺陷包括初弯曲和初偏心。构件在制造、运输和安装过程中，不可避免地会产生微小的初弯曲；由于构造或施工的原因，轴向压力没有通过构件截面的形心而形成偏心。这样，在轴向压力作用下，构件侧向挠度从加载起就会不断增加，使得构件除受有轴向压力作用外，实际上还存在因构件挠曲而产生的弯矩（图 12-7），从而降低了构件的稳定承载力。

②残余应力

残余应力是指构件受力前，构件内就已经存在自相平衡的初应力。构件的焊接、钢材的轧制、火焰切割等会产生残余应力。图 12-8 给出了焊接工字形截面构件的残余应力（焊接应力）的分布（“＋”号表示残余拉应力，“－”号表示残余压应力）。残余应力通常不会影响构件的静力强度承载力，因它本身自相平衡。但残余压应力将使其所处截面提早发展塑性，导致轴心受压构件的刚度和稳定承载力下降。

2）整体稳定计算

轴心受压构件整体稳定按下式计算：

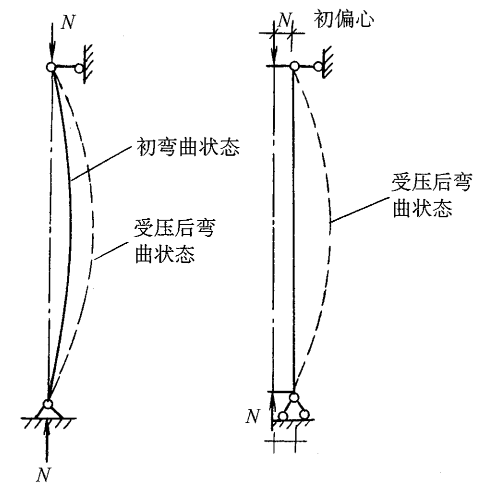


图 12-7 有初始缺陷的轴心受压构件

图 12-8 残余应力分布

$$\frac{N}{\varphi A} \leqslant f \tag{12-5}$$

式中 A——构件毛截面面积；

φ——轴心受压构件稳定系数，它与构件的长细比、钢材屈服强度有关。

其他符号意义同前。

《钢结构规范》对各种截面形式、不同的加工方法以及相应的残余应力分布模式，并考虑了 1/1000 杆长的初弯曲，共计算了 96 条稳定系数 φ 与长细比 λ 的关系曲线，最后按相近的计算结果归纳为 a、b、c 三条 φ 曲线，如图 12-9 所示。

实际计算时，根据求得的构件的长细比，按钢材的种类、截面的分类查《钢结构规范》附录 C 表 C-1～表 C-5 得到轴心受压构件的稳定系数 φ 值。

（3）局部稳定

局部稳定主要由构造解决。

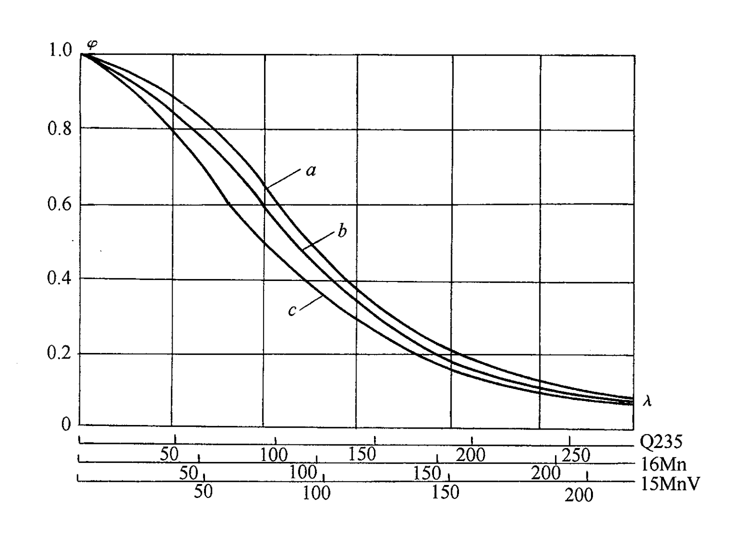


图 12-9 轴心受压构件 λ-φ 曲线

实腹式组合截面（如工字形、箱形等）的轴心受压构件都是由板件组成，如果这些板件过薄，则在均匀压应力作用下，将偏离其正常位置而形成波形屈曲，这种现象称局部失稳（图 12-10）。

《钢结构规范》对实腹式组合截面的轴心受压构件的局部稳定采取限制板件宽（高）厚比的办法来保证。对于工程中常用的工字形组合截面轴心受压构件，翼缘板和腹板的局部稳定计算如下：

翼缘板：

$$\frac{b_1}{t_1} \leqslant (10+0.1\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \qquad (12\text{-}6)$$

腹板：

$$\frac{h_0}{t_w} \leqslant (25+0.5\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \qquad (12\text{-}7)$$

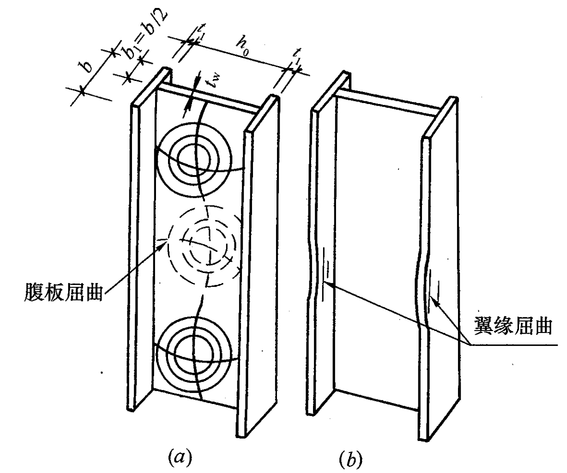


图 12-10 实腹式轴压构件局部屈曲
（a）腹板屈曲；（b）翼缘屈曲

式中 b_1、t_1——分别为翼缘板的外伸宽度和厚度；

h_0、t_w——分别为腹板的计算高度和厚度；

f_y——钢材的屈服点；

λ——构件对截面两主轴（x 轴、y 轴）长细比中的较大值，即 $\lambda=\max(\lambda_x、\lambda_y)$：当 $\lambda<30$ 时，取 30；当 $\lambda>100$ 时，取 100。

由于轧制的工字钢、槽钢的翼缘板和腹板均较厚，局部稳定均能满足要求，不必计算。

（4）刚度

轴心受压构件的刚度同轴心受拉构件一样用长细比来衡量。

对于受压构件，长细比更为重要。长细比过大，会使其稳定承载力降低太多，在较小荷载下就会丧失整体稳定，因此其容许长细比［λ］限制更应严格。受压构件的容许长细

比按表 12-2 采用。

受压构件的容许长细比 **表 12-2**

项 次	构 件 名 称	容许长细比
1	柱、桁架和天窗架中的杆件	150
	柱的缀条、吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑	
2	支撑（吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑除外）	200
	用以减小受压构件长细比的杆件	

注：1. 桁架（包括空间桁架）的受压腹杆，当其内力等于或小于承载能力的 50%时，容许长细比值可取 200；
2. 计算单角钢受压构件长细比的方法同表 12-1 注 2；
3. 跨度等于或大于 60m 的桁架，其受压弦杆和端压杆的容许长细比值宜取 100，其他受压腹杆可取 150（承受静力荷载或间接承受动力荷载）或 120（直接承受动力荷载）；
4. 由容许长细比控制截面的杆件，在计算其长细比时，可不考虑扭转效应。

构件的计算长度 l_0 的确定，见《钢结构规范》第 5.3.1 条表 5.3.1。

（5）轴心受压构件截面的设计原则

1）截面面积的分布应尽可能远离主轴线，以增加截面的回转半径，从而提高构件的稳定性和刚度。具体措施是在满足局部稳定和使用等条件下，尽量加大截面轮廓尺寸而减小板厚，在工字形截面中应取腹板较薄而翼缘较厚。

2）使两个主轴的稳定系数尽量接近，这样构件对两个主轴的稳定性接近相等，即等稳定设计。

3）便于与其他构件连接。

4）构造简单、制造方便。

5）选用能得到供应的钢材规格。

单角钢截面适用于塔架、桅杆结构。双角钢便于在不同情况下组成接近等稳定的压杆截面，常用于节点连接杆件的桁架中。用单独的热轧普通工字钢作轴心受压构件，制造最省工，但它的两个主轴回转半径相差较大，当构件对两个主轴的计算长度相差不多时，其两个主轴的稳定性相差很大，用料费。用三块钢板焊成的工字形组合截面轴压柱，具有组织灵活、截面的面积分布合理，便于采用自动焊和构造简单等特点。这种截面通常高度和宽度做得相同，当构件对两个主轴的计算长度相差一倍时，能接近等稳定，故应用最广泛。箱形、十字形、钢管截面，其截面对两个主轴的回转半径相近或相等，箱形截面的抗扭刚度大，但与其他构件的连接比较困难。格构式轴压构件的优点是肢件的间距可以调整，能够使两个主轴稳定性相等，用料较实腹式经济，但制作较费工。格构式轴心受压构件的计算有强度、整体稳定、单肢稳定、刚度及连接肢件的缀材计算等内容。

（二）受弯构件（梁）

1. 受弯构件的应用及截面形式

受弯构件是用以承受横向荷载的构件，也称之为梁，应用很广泛。例如建筑中的楼（屋）盖梁、檩条、墙架梁、工作平台梁以及吊车梁等。

梁按受力和使用要求可采用型钢梁和组合梁。前者加工简单、价格较廉，但截面尺寸受到规格的限制。后者适用于荷载和跨度较大、而采用型钢梁不能满足受力要求的情况。

型钢梁通常采用热轧工字钢和槽钢［图 12-11（*a*）、（*b*）］，荷载和跨度较小时，也可

采用冷弯薄壁型钢 [图 12-11（c）、（d）]，但因截面较薄，对防腐要求较高。

组合梁由钢板用焊缝或铆钉或螺栓连接而成。其截面组织较灵活，可使材料在截面上的分布更为合理，用料省。用三块钢板焊成的工字形组合梁 [图 12-11（e）]，构造简单、制作方便，故应用最为广泛。承受动荷载的梁，如钢材质量不满足焊接结构要求时，可采用铆接或高强度螺栓连接 [图 12-11（f）]。当梁的荷载很大而其截面高度受到限制，或抗扭要求较高时，可采用箱形截面 [图 12-11（g）]。

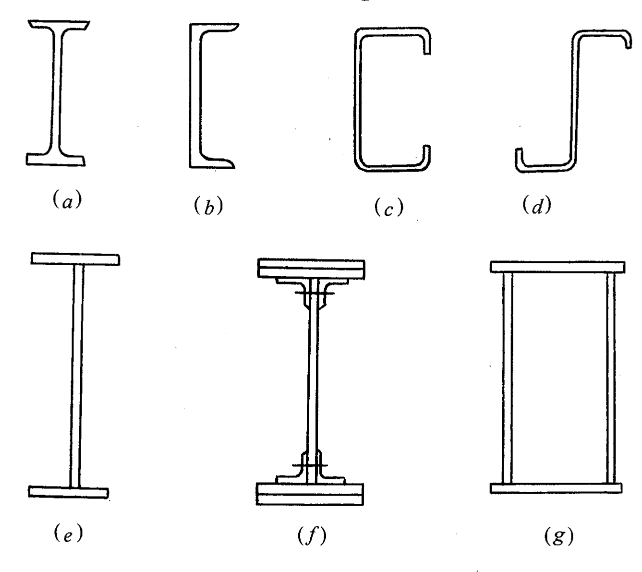


图 12-11　梁的截面形式

梁按其弯曲变形情况不同，分为仅在一个主平面内受弯的单向弯曲梁和在两个主平面内受弯的双向弯曲梁（也称斜弯曲梁）。工程中大多数是单向弯曲梁，屋面檩条和吊车梁等是双向弯曲梁。这里只讲单向弯曲梁。

2. 梁的计算

梁的计算包括强度、整体稳定、局部稳定和刚度四个方面的内容。

（1）强度

包括抗弯强度和抗剪强度计算。

梁在横向荷载作用下，在其截面中将产生弯曲正应力和剪应力（图 12-12），梁的截面通常由抗弯强度和抗剪强度确定。

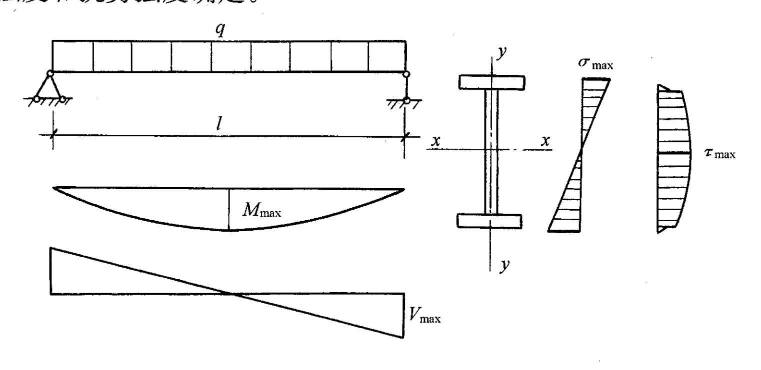


图 12-12　梁的内力与截面应力分布

1）抗弯强度（正应力）计算

梁的抗弯强度按下式计算：

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \leqslant f \tag{12-8}$$

式中　M_x——绕 x 轴的弯矩设计值；

W_{nx}——截面对 x 轴的净截面模量；

f——钢材抗弯强度设计值（抗拉、抗压相同）；

γ_x——考虑梁截面塑性变形的塑性发展系数，对工字形截面，$\gamma_x=1.05$；对箱形截面，$\gamma_x=1.05$；对其他截面，按《钢结构规范》表 5.2.1 采用。当梁受压翼缘的外伸宽度（b）与相应厚度（t）的比值为：

$$13\sqrt{235/f_y} < b/t \leqslant 15\sqrt{235/f_y} \text{ 时}, \gamma_x = 1.0$$

2）抗剪强度（剪应力）计算

梁的抗剪强度按下式计算：

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leqslant f_v \tag{12-9}$$

式中　V——计算截面沿腹板平面作用的剪力设计值；

S——计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩；

I——毛截面惯性矩；

t_w——腹板的厚度；

f_v——钢材抗剪强度设计值。

（2）整体稳定

1）概述

如图 12-13 所示，梁在最大刚度平面内弯曲（绕 x 轴弯曲），当受压翼缘的弯曲应力达到某一值后，就会出现平面的弯曲和扭转，最后使梁迅速丧失承载力，这种现象称梁丧失整体稳定。梁丧失整体稳定时的荷载一般低于强度破坏时的荷载，且失稳破坏是突然发生的，危害性大。因此，除计算梁的强度外，还必须验算其稳定性。稳定计算公式为：

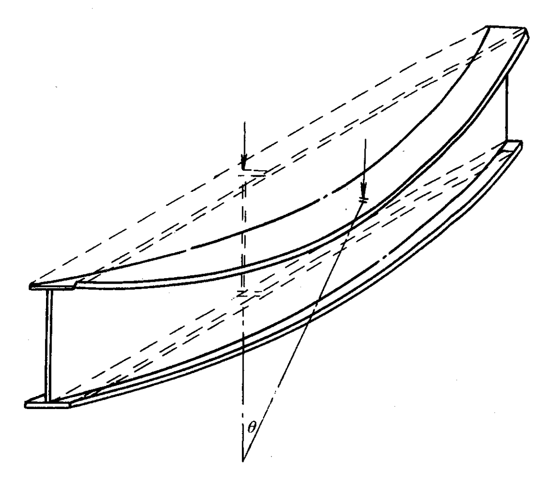


图 12-13　梁的整体失稳

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x} \leqslant f \tag{12-10}$$

式中　M_x——绕 x 轴作用的最大弯矩设计值；

W_x——按受压翼缘确定的梁毛截面模量；

φ_b——梁的整体稳定系数，按《钢结构规范》附录 B 确定。

2）提高梁整体稳定性的措施

梁的整体稳定承载力与梁的侧向刚度（EI_y）、受压翼缘的自由长度等因素有关。加大侧向刚度或减小受压翼缘自由长度都可以提高梁的整体稳定性。具体措施是：加大梁受

压翼缘宽度；在受压翼缘平面内设置支承以减小其自由长度。

《钢结构规范》规定，满足下列条件之一者，梁的整体稳定有保证，可不计算其整体稳定：

①有铺板（各种钢筋混凝土板和钢板）密铺在梁的受压翼缘上并与其牢固连接、能阻止梁受压翼缘的侧向位移时；

②H 型钢或等截面工字形简支梁受压翼缘的自由长度 l_1 与其宽度 b_1 之比不超过《钢结构规范》表 4.2.1 所规定的数值时。

（3）局部稳定

从经济的观点出发，设计组合梁截面时总是力求采用高而薄的腹板以增大截面的抗弯刚度；采用宽而薄的翼缘板以提高梁的整体稳定。但当钢板过薄时，腹板或受压翼缘在尚未达到强度限值或丧失整体稳定之前，就可能发生波曲或屈曲而偏离其正常位置，这种现象称为梁的局部失稳。梁的局部失稳会恶化梁的整体工作性能，必须避免。

为保证梁受压翼缘的局部稳定，应满足：

$$\frac{b_1}{t} \leqslant 15\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{12-11}$$

式中 b_1、t——分别为受压翼缘的外伸宽度和厚度。

为保证梁腹板的局部稳定，较为经济的办法是设置加劲肋（图 12-14）。按腹板高（h_0）厚（t_w）比的不同，当 $h_0/t_w \leqslant 80\sqrt{235/f_y}$时，一般梁不设置加劲肋；当 $80\sqrt{235/f_y} < h_0/t_w \leqslant 170\sqrt{235/f_y}$时，应设置横向加劲肋；当 $h_0/t_w > 170\sqrt{235/f_y}$时，应设置横向加劲肋和在受压区设置纵向加劲肋（详见《钢结构规范》第 4.3.2 条）。

当梁上作用集中荷载时，应设置短加劲肋。

轧制的工字钢和槽钢，其翼缘和腹板都比较厚，不会发生局部失稳，不必采取措施。

（4）刚度

梁的刚度用变形(即挠度)来衡量,变形过大会影响正常使用,同时也给人带来不安全感。

梁的刚度应满足：

$$\nu \leqslant [\nu] \tag{12-12}$$

式中 ν——梁的最大挠度，按材料力学中计算杆件挠度的方法计算；

$[\nu]$——梁的容许挠度，按《钢结构规范》附录 A.1 采用。

（三）拉弯和压弯构件

拉弯和压弯构件的应用及截面形式

拉弯和压弯构件是指同时承受轴心拉力或轴心压力及弯矩的构件，也称为偏心受拉或偏心受压构件。拉弯和压弯构件的弯矩可以由纵向荷载不通过构件截面形心的偏心引起，也可由横向荷载引起（图 12-15）。

钢结构中常采用拉弯和压弯构件，尤其是压弯构件的应用更为广泛。例如单层厂房的柱、多层或高层房屋的框架柱、承受不对称荷载的工作平台柱、支架柱等。桁架中承受节间荷载的杆件则常是压弯或拉弯构件。

拉弯和压弯构件，当弯矩较小时，它们的截面形式与一般轴心受力构件截面形式相同（图 12-15、图 12-16）；当弯矩较大时，应采用在弯矩作用平面内高度较大的截面。对于压弯构件，如只有一个方向的弯矩较大时（如绕 x 轴的弯矩），可采用如图 12-16 所示的单轴对称的截面形式，并使较大翼缘位于受压较大一侧。

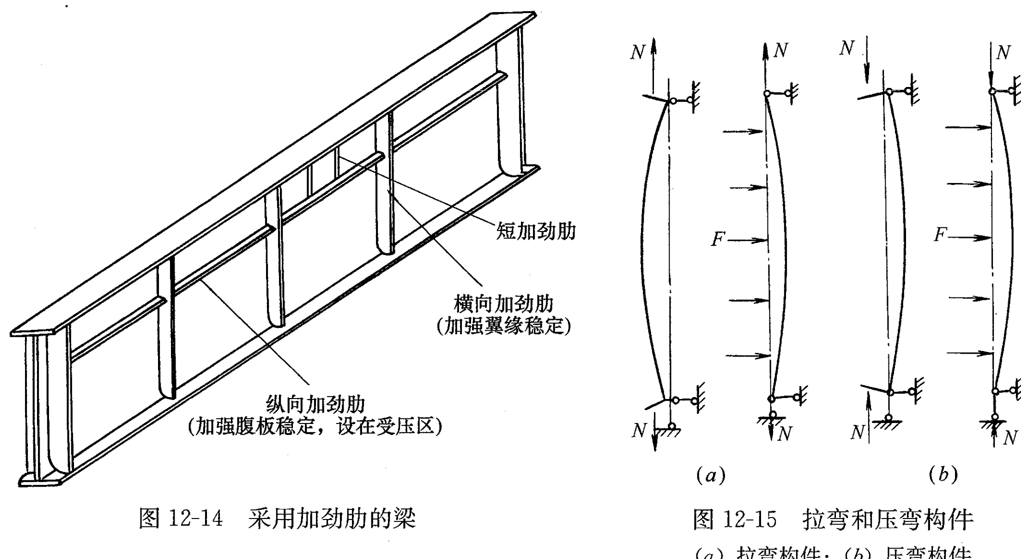


图 12-14　采用加劲肋的梁

图 12-15　拉弯和压弯构件
(a) 拉弯构件；(b) 压弯构件

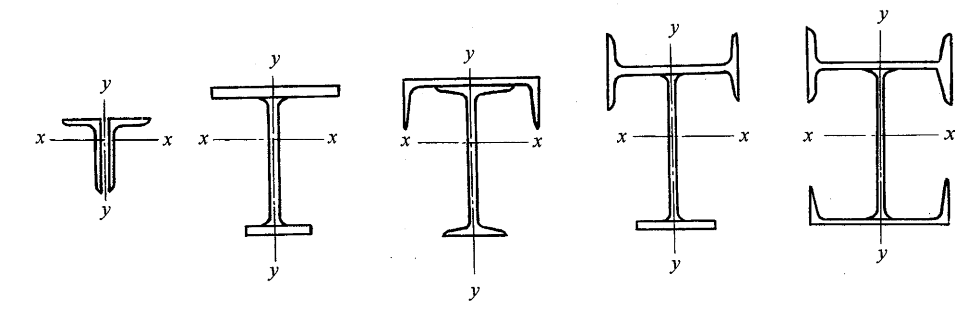


图 12-16　实腹式压弯构件截面形式

1. 拉弯构件的计算

拉弯构件的计算一般只需要考虑强度和刚度两个方面。但对以承受弯矩为主的拉弯构件，当截面一侧最外纤维发生较大的压应力时，则也应考虑和计算构件的整体稳定以及受压板件的局部稳定性。这里只讲一般受力情况下拉弯构件的计算。

(1) 强度

拉弯构件的截面上，除有轴心拉力产生的拉应力外，还有弯矩产生的弯曲应力，构件截面的应力应为两者之和（图 12-17）。截面设计时，应按截面上最大正应力计算强度：

$$\frac{N}{A_{\mathrm{n}}} \pm \frac{M_{\mathrm{x}}}{\gamma_{\mathrm{x}} W_{\mathrm{nx}}} \leqslant f \qquad (12\text{-}13)$$

式中　N、M_{x}——分别为轴心拉力设计值和绕 x 轴的弯矩设计值。其余符号意义同前。

(2) 刚度

拉弯构件的刚度计算与轴心受拉构件相同，其容许长细比也相同。

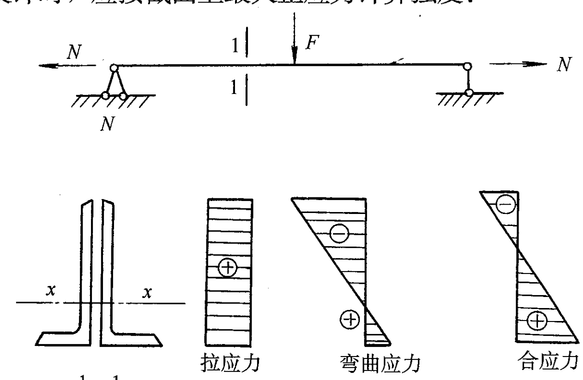


图 12-17　拉弯构件截面应力分布

2. 压弯构件的计算

实腹式压弯构件的计算包括强

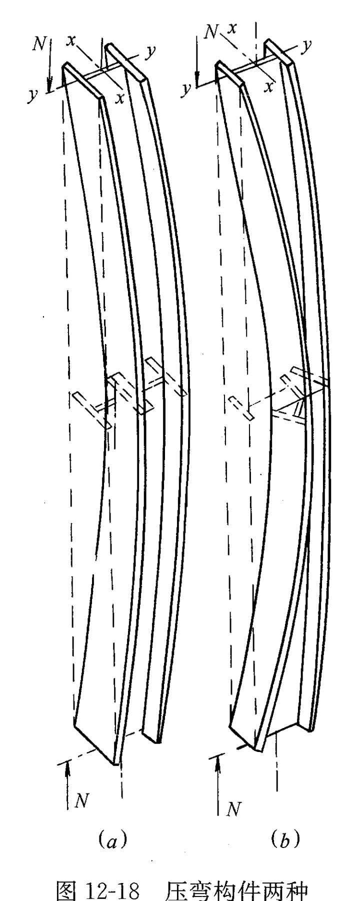


图 12-18 压弯构件两种整体屈曲（两端铰接）

(a) 弯矩作用平面内（弯曲）屈曲；(b) 弯矩作用平面外（弯扭）屈曲

度、整体稳定、局部稳定和刚度四个方面的内容。

（1）强度

压弯构件的强度计算公式同拉弯构件一样采用公式（12-13）计算，但式中 N 为轴心压力的设计值。

（2）整体稳定

压弯构件的承载力通常是由稳定性来决定的。现以弯矩在一个主平面内作用的压弯构件为例，说明其丧失整体稳定现象（图 12-18）。在 N 和 M_x 共同作用下，一开始构件就在弯矩作用平面内发生变形，呈弯曲状态，当 N 和 M_x 同时增加到一定值时则达到极限，超过此极限，构件的内外力平衡被破坏，表现出构件不再能够抵抗外力作用而被压溃，这种现象称为构件在弯矩作用平面内丧失整体稳定［图 12-18（a）］。

对侧向刚度较小的压弯构件，当 N 和 M_x 增加到一定值时，构件在弯矩作用平面外不能保持平直，突然发生平面外的弯曲变形，并伴随截面绕纵轴的扭转，从而丧失承载力，这种现象称为构件在弯矩作用平面外丧失稳定［图 12-18（b）］。

压弯构件需要进行弯矩作用平面内和弯矩作用平面外的稳定计算，计算较复杂。有关整体稳定计算，参照《钢结构规范》有关规定。

（3）局部稳定

实腹式压弯构件，当板件过薄时，腹板或受压翼缘在尚未达到强度极限值或构件丧失整体稳定之前，就可能发生波曲及屈曲（即局部失稳）。压弯构件的局部稳定采用限制板件宽（高）厚比的办法来保证。

（4）刚度

压弯构件的刚度计算与轴心受压构件相同，容许长细比也相同。

以上钢结构构件计算的基本内容可参见表 12-3。

钢结构构件计算的基本内容 **表 12-3**

序号	计算项目 构件类别	强度计算	整体稳定计算	局部稳定计算	长细比计算	挠度位移等变形计算	疲劳计算
1	轴心受拉构件	•			•		
2	轴心受压构件	•	•	•	•		
3	受弯构件	•	•	•		•	
4	拉弯构件	•			•		
5	压弯构件	•	•	•	•	•	
6	受重级吊车荷载的吊车梁	•	•	•		•	•

第四节　钢结构的连接

一、钢结构的连接方法

钢结构的连接方法有焊接连接、铆钉连接和螺栓连接（图 12-19）。

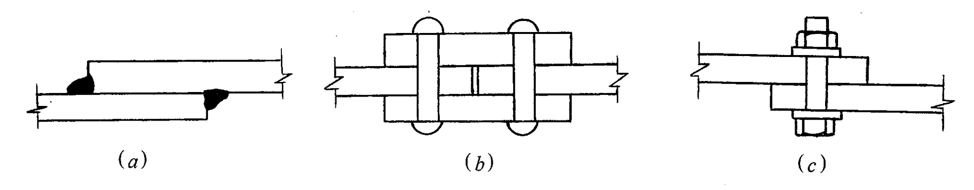


图 12-19　钢结构的连接方法

(*a*) 焊接连接；(*b*) 铆钉连接；(*c*) 螺栓连接

（一）焊接连接

焊接是钢结构中应用最广泛的一种连接方法。它的优点是构造简单，用钢量省，加工简便，连接的密封性好，刚度大，易于采用自动化操作。缺点是焊件会产生焊接残余应力和焊接残余变形；焊接结构对裂纹敏感，局部裂纹会迅速扩展到整个截面；焊缝附近材质变脆。

焊接连接的方法有很多，其中手工电弧焊、自动或半自动埋弧电弧焊和二氧化碳气体保护焊最为常见。

手工电弧焊由焊条，夹焊条的焊把，电焊机，焊件和导线组成。常用的焊条为 E43××、E50××和 E55××型。字母 E 表示焊条，后面的两位数表示熔敷金属（焊缝金属）抗拉强度的最小值，如 43 表示熔敷金属抗拉强度为 $f_u=43\text{kg/mm}^2$；第三位数字表示适用的焊接位置（平焊、横焊、立焊和仰焊）；第三位和第四位数字组合时表示药皮类型和适用的焊接电源种类。按焊条选用应和焊件钢材的强度相适应的原则，Q235 钢应选择 E43××型焊条（E4300～E4316）；Q345 钢应选择 E50××型钢焊（E5000～E5018）；Q390、Q420 钢应选择 E55××型焊条（E5500～E5518）。手工电弧焊设备简单，操作灵活，适用性强，是钢结构中最常用的焊接方法。后两种焊接方法的生产效率高，焊接质量好，在金属结构制造厂中常用。

（二）铆钉连接

铆钉连接是将一端带有预制钉头的铆钉，插入被连接构件的钉孔中，利用铆钉或压铆机将另一端压成封闭钉头而成。铆钉连接因费钢费工，劳动条件差，成本高，现已很少采用。但因铆钉连接的塑性和韧性好，传力可靠，质量易于检查，所以在某些重型和经常受动力荷载作用的结构，有时仍采用铆钉连接。

（三）螺栓连接

螺栓连接可分为普通螺栓连接和高强度螺栓连接。

1. 普通螺栓连接，主要用在安装连接和可拆装的结构中。普通螺栓有两种类型：一种是粗制螺栓（称为 C 级），它的制作精度较差，孔径比栓杆直径大 1.0～1.5mm，便于制作和安装。粗制螺栓连接，适用于承受拉力，而受剪性能较差。因此，它常用于承受拉力的安装螺栓连接（同时有较大剪力时常另加承托承受），次要结构和可拆卸结构的抗剪连接，以及安装时的临时固定。另一种是精制螺栓（A 级或 B 级），它的制作精度较高，

孔径比栓杆直径只大 0.3～0.5mm，连接的受力性能较粗制螺栓连接好，但其制作和安装都较费工，价格昂贵，故钢结构中较少采用。

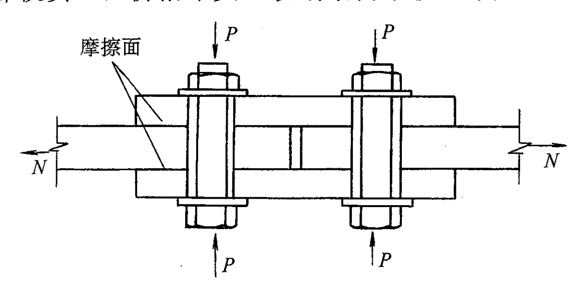


图 12-20 高强度螺栓连接

2. 高强度螺栓（包括螺帽和垫圈均采用高强度材料制作）连接，安装时，用特制的扳手拧紧螺母给栓杆施加很大的预拉力，从而在被连接板件的接触面上产生很大的压力（图 12-20）。当受剪力时，按设计和受力要求的不同，可分为摩擦型和承压型两种。

摩擦型高强度螺栓连接：这种连接仅依靠板件接触面间的摩擦力传递剪力，即保证连接在整个使用期间剪力不超过最大摩擦力。这种连接，板件间不会产生相对滑移，其工作性能可靠，耐疲劳，在我国已取代铆钉连接并得到愈来愈广泛的应用，可应用于非地震区，也可用于地震区。

承压型高强度螺栓连接：这种连接是依靠板件间的摩擦力与栓杆承压和抗剪共同承受剪力。连接的承载力较摩擦型的高，可节约螺栓。但这种连接受剪时的变形比摩擦型大，所以只适用于承受静荷载和对结构变形不敏感的连接中，不宜用于地震区。

高强度螺栓的强度等级分 8.8 级和 10.9 级两种。小数点前“8”和“10”表示螺栓经热处理后的最低抗拉强度；“.8”和“.9”表示螺栓经热处理后的屈服点与抗拉强度之比。如 8.8 级表示螺栓经热处理后的最低抗拉强度 $f_u \geqslant 800\text{N/mm}^2$，屈服点与抗拉强度之比为 0.8。按摩擦型设计时，孔径比栓杆直径大 1.5～2.0mm；按承压型设计时，孔径比栓杆直径大 1.0～1.5mm。

二、焊接连接的构造和计算

（一）连接形式和焊缝形式

连接形式有对接、搭接和 T 形连接三种基本形式（图 12-21）。

焊缝形式有对接焊缝和角焊缝两种。对接焊缝指焊缝金属填充在由被连接板件构成的坡口内，成为被连接板件截面的组成部分［图 12-21（*a*）、（*d*）］。角焊缝指焊缝金属填充在由被连接板件构成的直角或斜角区域内［图 12-21（*b*）、（*c*）］。板件构成为直角时称为直角角焊缝；为锐角或钝角时称为斜角角焊缝。直角角焊缝最常用。

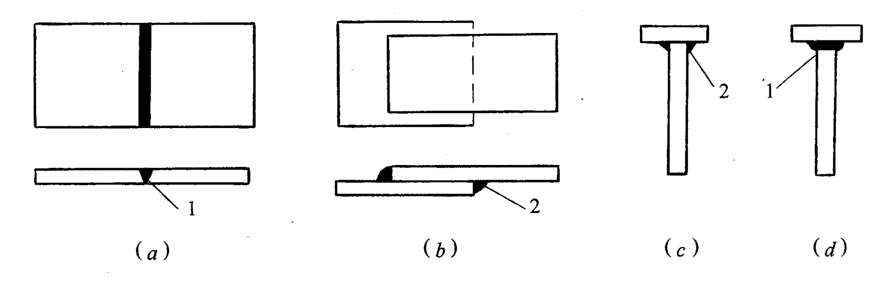


图 12-21 焊接连接的形式

（*a*）对接；（*b*）搭接；（*c*）、（*d*）T 形连接

1—对接焊缝；2—角焊缝

由对接焊缝构成的对接，构件位于同一平面，截面无显著变化，传力直接，应力集中小，钢板和焊条用量省。但要求构件平直，板较厚时（≥10mm）还要对板的焊接边缘进行坡口加工，故较费工。角焊缝连接，由于板件相叠，截面突变，应力集中较大，且较费料，但施工简便，因而应用较普遍。T 形连接板件相互垂直，一般采用角焊缝，直接承受动力荷载时应采用对接焊缝。

（二）焊缝代号

钢结构图纸中用焊缝代号标注焊缝形式、尺寸和辅助要求。焊缝代号由引出线、图形符号和辅助符号三部分组成。图形符号表示焊缝剖面的基本形式。当引出线的箭头指向焊缝所在的一面时，应将图形符号和焊缝尺寸等注在水平横线的上面；当箭头指向对应焊缝所在的另一面时，则应将图形符号和焊缝尺寸标注在水平横线下面。表 12-4 给出了几个常用的焊缝代号标注方法。

焊　缝　代　号　　　　**表 12-4**

形式	角焊缝				槽焊缝	对接焊缝
	单面焊缝	双面焊缝	安装焊缝	周围焊缝		
形式	h_f	h_f　h_f				α_1　b　α_2　p
标注方法	h_f h_f	h_{f1} h_{f2}	p	[h_f □ h_f		p　α_1　b　α_2 p　α_1　b　α_2

（三）对接焊缝连接的构造和计算

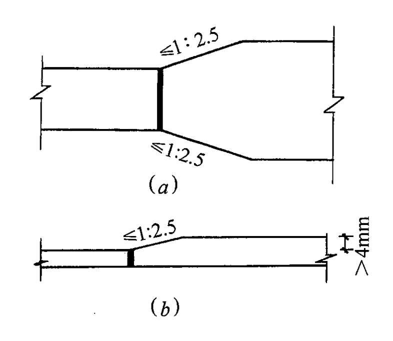
1. 对接焊缝的构造

（1）对接焊缝的坡口形式，应根据板厚和施工条件按现行标准《手工电弧焊焊接接头的基本形式与尺寸》和《埋弧焊焊接接头的基本形式与尺寸》的要求选用。

（2）在对接焊缝的拼接处：当焊件的宽度不同或厚度相差 4mm 以上时，应分别在宽度方向或厚度方向从一侧或两侧做成坡度不大于 1∶2.5 的斜角（图 12-22）。

（3）对接焊缝的起点和终点，常因不能熔透而出现凹形焊口，为避免其受力而出现裂纹及应力集中，对于重要的连接，焊接时应采用引弧板，将焊缝两端引至引弧板上，然后

再将多余的部分割除（图 12-23）。



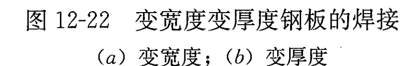


图 12-22　变宽度变厚度钢板的焊接

(a) 变宽度；(b) 变厚度

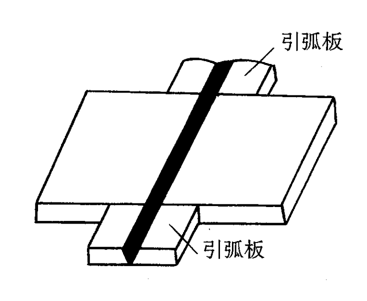


图 12-23　对接焊缝的引弧板

2. 对接焊缝的计算

(1) 对接焊缝的强度

《钢结构工程施工质量验收规范》对焊缝的质量检验标准分成三级：一、二级要求焊缝不但要通过外观检查，同时要通过 X 光或 γ 射线的一、二级检验标准；三级则只要求通过外观检查。能通过一、二级检验标准的焊缝，其质量为一、二级，焊缝的抗拉强度设计值与焊件的抗拉强度设计值相同；未通过一、二级检验标准或只通过外观检查的对接焊缝，其质量均属于三级，焊缝的抗拉强度设计值为焊件强度设计值的 0.85 倍。当对接焊缝承受压力或剪力时，焊缝中的缺陷对强度无明显影响。因此，对接焊缝的抗压和抗剪强度设计值均与焊件的抗压和抗剪强度设计值相同。

(2) 对接焊缝的计算

对接焊缝截面上的应力分布与焊件截面上的应力分布相同，按力学中计算杆件截面应力的方法计算焊缝截面的应力，并保证不超过焊缝的强度设计值。

对接焊缝在轴向力（拉力或压力）作用下［图 12-24 (a)］，假设焊缝截面上的应力是均匀分布的，按下式计算：

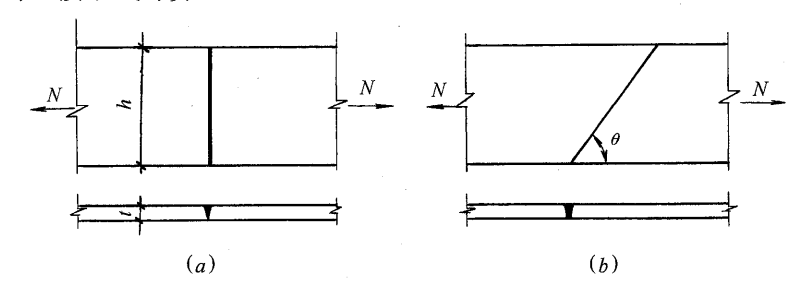


图 12-24

(a) 直焊缝；(b) 斜焊缝

$$\sigma=\frac{N}{l_{w}t}\leqslant f_{t}^{w} \text{或} f_{c}^{w} \tag{12-14}$$

式中　N——轴心拉力或轴心压力设计值；

l_w——焊缝计算长度，取等于焊件宽度，当未采用引弧板时取焊件宽度减去 10mm；

t——对接接头中较薄焊件厚度（T 形接头中为腹板厚度）；

f_t^w、f_c^w——分别为对接焊缝的抗拉，抗压强度设计值。

当承受轴心力的焊件用斜对接焊缝时［图 12-24（b）］，若焊缝与作用力间的夹角符合 $\tan\theta \leqslant 1.5$ 时，其强度可不计算。

（四）直角角焊缝的构造和计算

1. 角焊缝的构造

直角角焊缝是钢结构中最常用的角焊缝。这里主要讲述直角角焊缝的构造和计算。

（1）角焊缝的尺寸

1）焊脚尺寸。直角角焊缝中最常用的是普通式［图 12-25（a）］，其他如平坡凸形［图 12-25（b）］、凹面形［图 12-25（c）］主要是为了改变受力状态，减小应力集中，一般

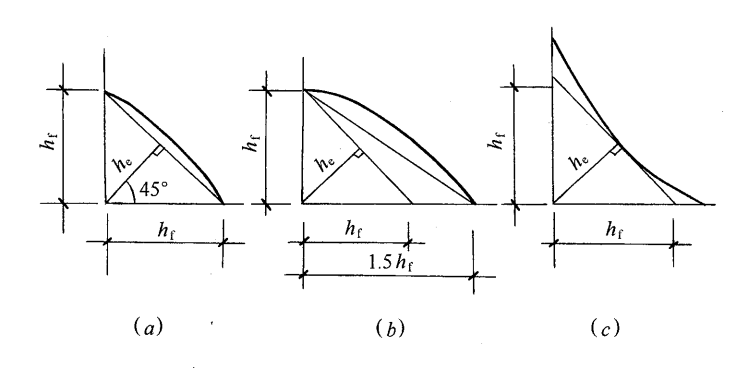


图 12-25　直角角焊缝截面的有效高度

（a）普通形；（b）平坡凸形；（c）凹形

多用于直接承受动力荷载的结构构件的连接中。角焊缝的焊脚尺寸是指角焊缝的直角边，以其中较小的直角边 h_f 表示（图 12-25），与 h_f 成 45°喉部的长度为角焊缝的有效高度 h_e（亦即角焊缝的计算高度），$h_e = \cos45° \times h_f \approx 0.7h_f$。

2）角焊缝计算长度。焊缝计算长度 l_w 取其实际长度减去引弧（5mm）和灭弧（5mm）的影响。

角焊缝按外力作用方向分为平行于外力作用方向的侧面角焊缝和垂直于外力作用方向的正面角焊缝或称端焊缝（图 12-26）。

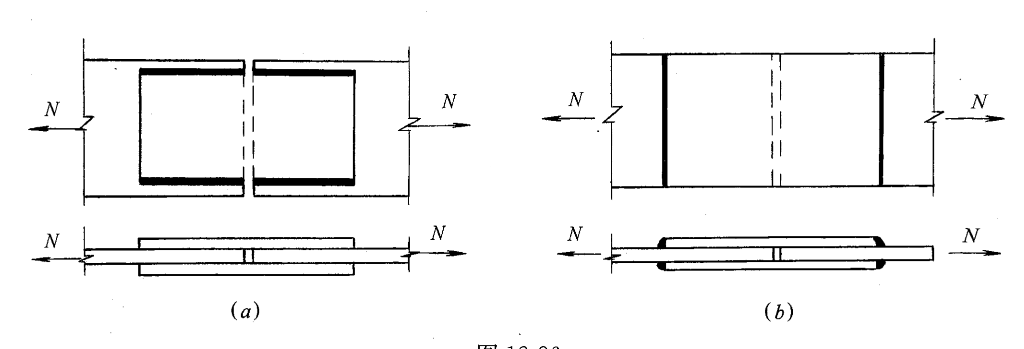


图 12-26

（a）侧面角焊缝；（b）正面角焊缝

（2）角焊缝的尺寸限制

1）角焊缝的焊脚尺寸

最小焊脚尺寸。角焊缝最小焊脚尺寸 h_{fmin} 取 $1.5\sqrt{t}$（t——较厚焊件的厚度，单位：mm）。但对于自动焊，最小焊脚尺寸可减小 1mm；对 T 形连接的单面角焊缝应增加 1mm。当焊件厚度小于或等于 4mm 时，最小焊脚尺寸应与焊件厚度相同。

最大焊脚尺寸。角焊缝的最大焊脚尺寸 $h_{fmax}=1.2t$（t——较厚焊件的厚度，图 12-27）；但焊件（厚度为 t）边缘的最大焊脚尺寸为［图 12-27（b）］：当 $t\leqslant 6$mm 时，$h_{fmax}=t$；当 $t>6$mm 时，$h_{fmax}=t-(1\sim 2\text{mm})$。

设计时应满足：$h_{fmin}\leqslant h_f\leqslant h_{fmax}$。

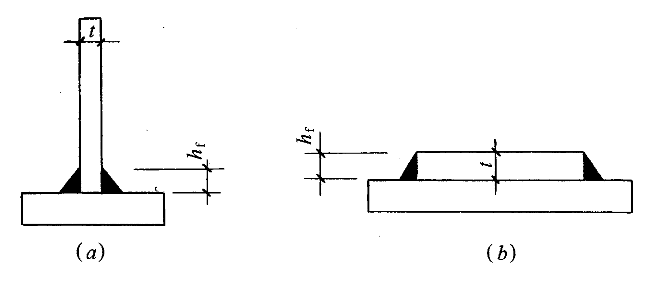


图 12-27　最大焊脚尺寸 h_{fmax}

2）角焊缝的计算长度

角焊缝的最小计算长度：侧面角焊缝和正面角焊缝的最小计算长度 $l_{wmin}=8h_f$ 和 40mm。

侧面角焊缝的最大计算长度：承受静荷载或间接承受动力荷载时，$l_{wmax}=60h_f$；承受动力荷载时，$l_{wmax}=40h_f$。

设计时应满足 $l_{wmin}\leqslant l_w\leqslant l_{wmax}$。

当侧面角焊缝计算长度 $l_w>l_{wmax}$ 时，其超出部分计算时不予考虑，取 $l_w=l_{wmax}$。若内力沿侧面角焊缝全长分布时（如工字形截面组合梁的腹板与翼缘连接的角焊缝），无最大计算长度限制。

（3）其他构造要求

1）在直接承受动力荷载的结构中，角焊缝应采用平坡凸形［图 12-25（b）］或凹面形［图 12-25（c）］；对正面角焊缝焊脚尺寸的比例宜为 1：1.5（长边顺内力方向），对侧面角焊缝可为 1：1。

2）当板件的端部仅采用两侧面角焊缝时，每条侧面角焊缝长度不宜小于侧面角焊缝之间的距离；同时两侧面角焊缝之间的距离不宜大于 $16t$（当 $t>12$mm）或 200mm（当 $t\leqslant 12$mm），t 为较薄焊件厚度。

3）在搭接连接中，搭接长度不得小于焊件较小厚度的 5 倍，并不得小于 25mm。

4）在次要构件或次要焊缝连接中，如计算所需的焊缝长度过小时，可采用断续角焊缝。断续角焊缝之间的净距不应大于 $15t$（对受压构件）或 $30t$（对受拉构件），t 为较薄焊件的厚度。

5）杆件与节点板的连接焊缝一般宜采用两面侧焊［图 12-28（a）］，也可采用三面围焊［图 12-28（b）］；对角钢杆件还可采用 L 形围焊［图 12-28（c）］。所有围焊的转角处必须连续施焊。

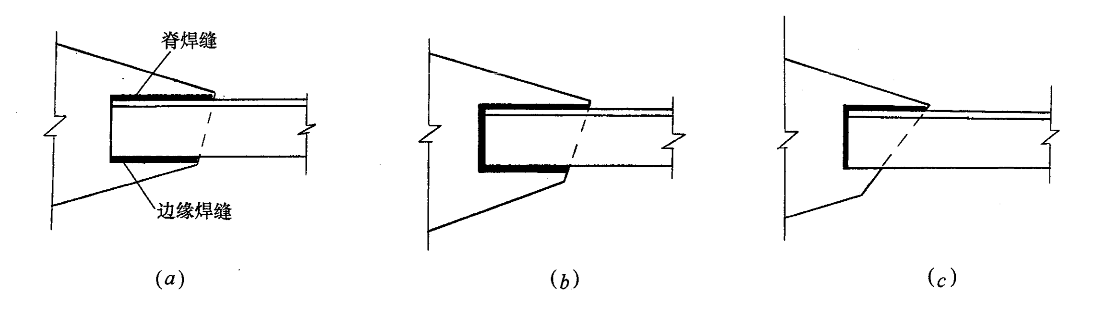


图 12-28　角钢与节点板的焊缝连接

(*a*) 两面侧焊；(*b*) 三面围焊；(*c*) L 形围焊

当角焊缝的端部在杆件转角处作长度为 $2h_f$ 的绕角焊时，转角处必须连续施焊［图 12-28 (*b*)、(*c*)］。

2. 角焊缝的计算

(1) 计算原则

角焊缝的受力状态十分复杂，建立角焊缝的计算公式主要靠试验分析。通过对角焊缝的大量试验分析，得到如下结论及计算原则：

1) 计算时，不论角焊缝受力方向如何，均取角焊缝在 45°喉部截面为计算截面，计算截面高度为 h_e（不考虑余高，图 12-25）。

2) 正面角焊缝的强度一般为侧面角焊缝强度的 1.35～1.55 倍。

3) 角焊缝的抗拉、抗压、抗剪设计强度设计值均采用同一指标，用 f_f^w 表示。

(2) 角焊缝的计算

1) 角焊缝在轴心力作用下的计算

轴心力指外力作用通过焊缝群的形心。

①在与焊缝长度方向平行的轴心力作用下［图 12-26 (*a*)］：

$$\tau_f = \frac{N}{h_e l_w} \leqslant f_f^w \tag{12-15}$$

式中　τ_f——按角焊缝的计算截面计算，沿焊缝长度方向的剪应力；

N——轴心力（拉力、压力、剪力）；

h_e——角焊缝计算截面的高度，直角角焊缝取 $0.7h_f$；

l_w——角焊缝的计算长度，对每条焊缝取其实际长度减去 $2h_f$；

f_f^w——角焊接的强度设计值。

②在与焊缝长度方向垂直的轴心力作用下［图 12-26 (*b*)］

$$\sigma_f = \frac{N}{h_e l_w} \leqslant \beta_f f_f^w \tag{12-16}$$

式中　σ_f——按角焊缝计算截面计算，垂直于焊缝长度方向的应力；

β_f——正面角焊缝强度提高系数，直接承受动荷载时取 1.0；其他荷载情况取 1.22。

2) 角焊缝在其他力或各种力综合作用下的计算：

图 12-29 (*a*) 为搭接连接，图 12-29 (*b*) 为 T 形连接，在轴心力 N、剪力 V 和扭矩 T 或弯矩 M 的共同作用下，焊缝危险点（图中 A 点）应满足：

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2+\tau_f^2}\leqslant f_f^w \tag{12-17}$$

式中 σ_f——按焊缝有效截面（$h_e l_w$）计算，垂直于焊缝长度方向的应力；

τ_f——按焊缝有效截面计算，沿焊缝长度方向的剪应力。

其他符号同前。

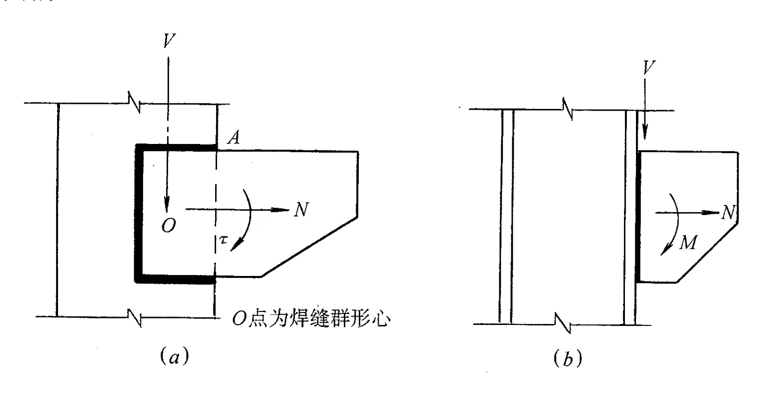


图 12-29 角焊缝受到几种力的综合作用

三、螺栓连接的构造与计算

（一）螺栓连接的构造

1. 螺栓的排列

螺栓的排列分并列和错列两种形式（图 12-30）。并列形式比较简单，整齐，应尽可能采用；错列形式可以减少钢板截面面积的削弱，在型钢的肢上布置螺栓时，常受到肢宽的限制而必须采用错列。

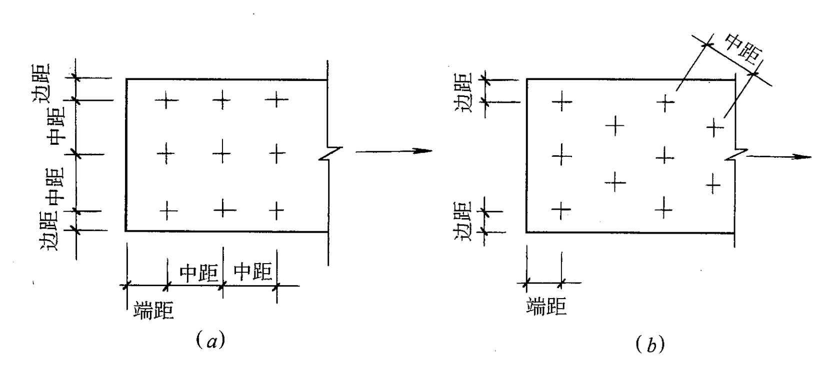


图 12-30 螺栓的排列

（a）并列；（b）错列

中距：$3d_0$；端距（顺力方向）：$2d_0$；边距（垂直力方向）：$1.5d_0$

d_0——螺栓（或铆钉）孔径

2. 螺栓排列的要求

（1）受力要求：按受力要求，螺栓的间距不宜过大或过小。例如，受压构件顺作用力方向的中距过小时，构件容易压屈鼓出；端距过小时，前部钢板则可能被剪坏。

（2）构造要求：螺栓间距过大时，构件接触面不严密，当湿度较大时，潮气易侵入，使钢材锈蚀，故螺栓间距不能过大。

（3）施工要求：布置螺栓时，还要考虑用扳手拧螺栓的可能性。

根据上述三个方面的要求，《钢结构规范》规定了螺栓排列的最大、最小容许距离（见《钢结构规范》表 8.3.4）。

3. 螺栓及孔的图例

螺栓、孔、电焊铆钉的图例见表 12-5。

螺栓、孔、电焊铆钉图例 **表 12-5**

序号	名　称	图　例	说　明
1	永久螺栓		1. 细“+”线表示定位线 2. M 表示螺栓型号 3. ϕ 表示螺栓孔直径 4. d 表示膨胀螺栓、电焊铆钉直径 5. 采用引出线标注螺栓时，横线上标注螺栓规格，横线下标注螺栓孔直径
2	高强螺栓		
3	安装螺栓		
4	胀锚螺栓		
5	圆形螺栓孔		
6	长圆形螺栓孔		
7	电焊铆钉		

（二）普通螺栓连接的计算

普通螺栓连接按螺栓的传力方式可分为抗剪螺栓、抗拉螺栓和同时抗剪及抗拉螺栓连接。抗剪螺栓是依靠栓杆的抗剪以及螺栓对孔壁的承压传递垂直于螺栓杆方向的剪力（图 12-31）；抗拉螺栓则是螺栓承受沿杆长方向的拉力（图 12-32）。

1. 抗剪普通螺栓连接的计算

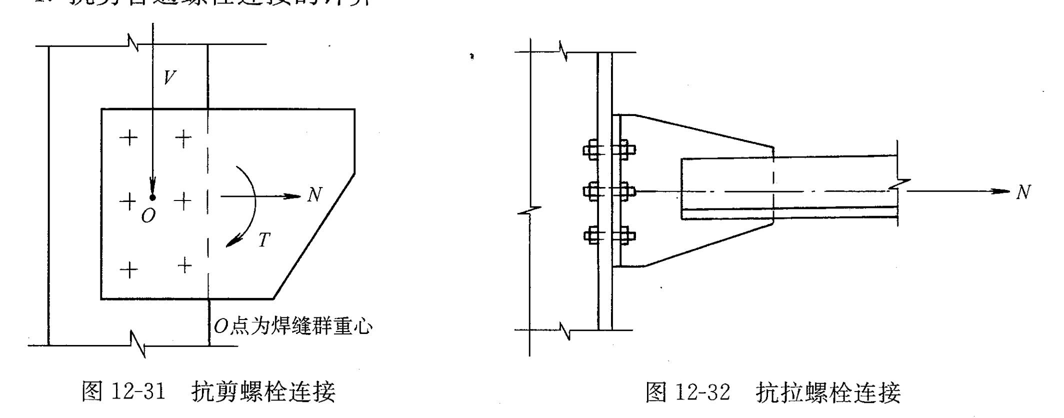


图 12-31　抗剪螺栓连接　　　图 12-32　抗拉螺栓连接

（1）连接的破坏形式

抗剪普通螺栓连接有五种可能的破坏形式：

1）当螺栓直径较小，板件较厚时，螺栓可能被剪断［图 12-33（a）］；

2）当螺栓直径较大，板件相对较薄时，构件孔壁可能被挤压破坏［图 12-33（b）］；

3）当栓孔对构件的削弱过大时，构件可能在削弱处被拉断［图 12-33（c）］；

4）当螺栓杆过长时，螺栓杆可能发生过大的弯曲变形而使连接破坏［图 12-33（d）］；

5）当端距过小时，板端可能受冲剪而破坏［图 12-33（e）］。

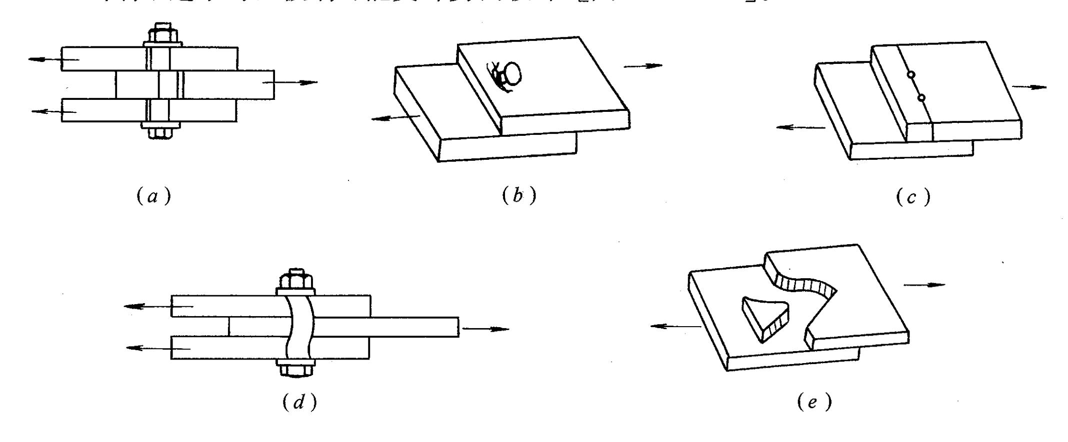


图 12-33　抗剪普通螺栓连接的破坏形式

上述五种情况中，后两种情况可以采取构造措施防止，如被连接构件板重叠厚度不大于 5 倍的螺栓直径，可以避免螺栓过度弯曲破坏；端距不小于 2 倍螺栓的孔径，可以避免构件端部板被剪坏。前三种情况则须通过计算来保证。

（2）抗剪普通螺栓连接的计算。

1）一个抗剪螺栓的承载力设计法

抗剪设计承载力：
$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \tag{12-18}$$

承压设计承载力：
$$N_c^b = d\Sigma t f_c^b \tag{12-19}$$

式中　n_v——螺栓的受剪面数，单面受剪时，取 $n_v=1$，双面受剪时，取 $n_v=2$；

d——螺栓杆直径，常用的直径有 16mm、20mm；

Σt——在不同受力方向中，同一方向受力的承压构件的总厚度的较小值；

f_v^b、f_c^b——分别为螺栓的抗剪强度设计值和承压强度设计值，按《钢结构规范》表 3.4.1-4 采用。

2）抗剪螺栓连接的计算

如图 12-31 所示，抗剪螺栓连接在几种外力综合作用下，每个螺栓应满足：
$$N_v \leqslant N_v^b \text{ 及 } N_c^b \tag{12-20}$$

2. 抗拉螺栓连接的计算

如图 12-32 所示，普通螺栓承受沿螺栓杆轴线方向的拉力 N 的作用，此时一个螺栓的抗拉承载力设计值为：
$$N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b \tag{12-21}$$

式中　d_e——螺栓在螺纹处的有效直径；

f_t^b——螺栓抗拉强度设计值，按《钢结构规范》表 3.4.1-4 采用。

抗拉螺栓连接中，每个螺栓应满足：

$$N_t \leqslant N_t^b \tag{12-22}$$

3. 普通螺栓同时承受剪力和拉力的计算

如图 12-34 所示，螺栓群同时承受拉力和剪力，每个螺栓应同时满足：

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} \leqslant 1 \tag{12-23}$$

$$N_v \leqslant N_c^b \tag{12-24}$$

式中 N_v、N_t——每个螺栓所受的剪力和拉力。

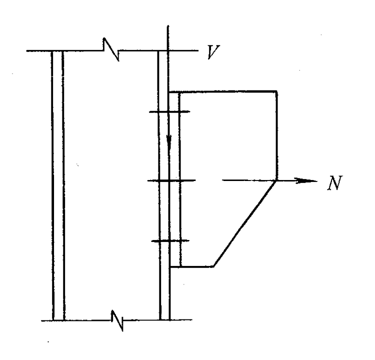


图 12-34 螺栓同时承受剪力和拉力

第五节 构件的连接构造

单个构件必须通过相互连接才能形成整体。构件间的连接，按传力和变形情况可分为铰接、刚接和介于二者之间的半刚接三种基本类型。半刚接在设计中采用较少，故这里仅讲述铰接和刚接的构造。

一、次梁与主梁的连接

（一）次梁与主梁铰接

次梁与主梁铰接从构造上可分为两类：一类如图 12-35（*a*）所示的叠接，即次梁直接放在主梁上，并用焊缝或螺栓连接。叠接需要的结构高度大，所以应用常受到限制。另一类是如图 12-35（*b*）、（*c*）所示主梁与次梁的侧向连接。这种连接可以减小梁格的结构高度，并增加梁格刚度，应用较多。图 12-35（*b*）为次梁借助于连接角钢与主梁连接，连接角钢与次梁采用螺栓和安装焊缝相连。图 12-35（*c*）的构造是将次梁用螺栓或安装焊缝连接于主梁的加劲肋上。

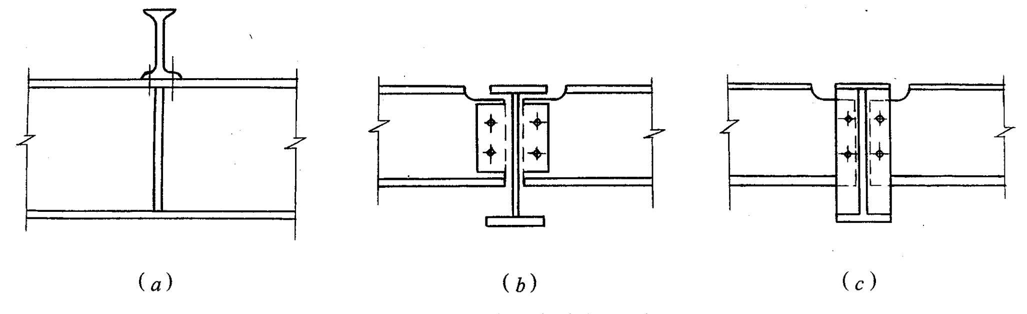


图 12-35 次梁与主梁铰接

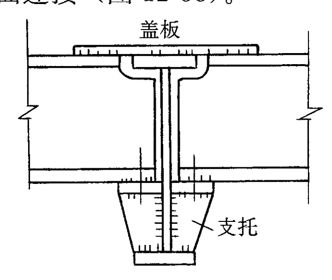
（二）次梁与主梁刚接

次梁与主梁刚接可采用图 12-36 所示的构造，这种连接的实质是把相邻次梁连接或支承于主梁上的连续梁。为了承受次梁端部的弯矩 M，在次梁上翼缘处设置连接盖板，盖板与次梁上翼缘用焊缝连接。次梁下翼缘与支托顶板也用焊缝连接。

二、梁与柱的连接

（一）梁与柱的铰接

梁与柱的铰接有两种构造形式：一种是将梁直接放在柱顶上（图 12-37）；另一种是将梁与柱的侧面连接（图 12-38）。



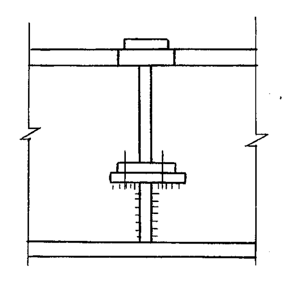


图 12-36　次梁与主梁刚接

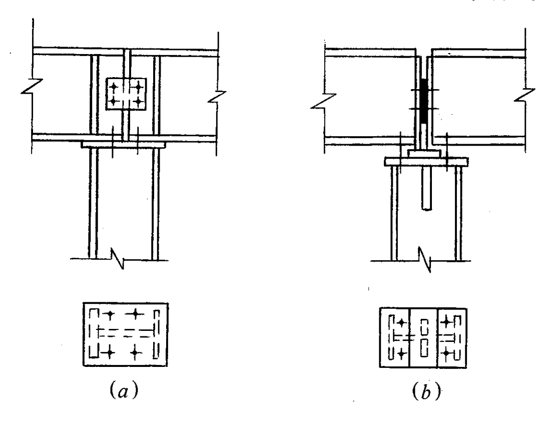


图 12-37　梁与柱铰接

图 12-38 是梁支承于柱顶的铰接构造，梁的反力通过柱的顶板传给柱；顶板一般取16～20mm厚，与柱焊接；梁与顶板用普通螺栓相连。图 12-38（*a*）中，梁支承加劲肋对准柱的翼缘，相邻梁之间留一空隙，以便安装时有调节余地。最后用夹板和构造螺栓相连。这种连接形式传力明确，构造简单，但当两相邻梁反力不等时即引起柱的偏心受压。图 12-38（*b*）中，梁的反力通过突缘加劲肋作用于柱轴线附近，即使两相邻梁反力不等，柱仍接近轴心受压。突缘加劲肋底部应刨平顶紧于柱顶板；在柱顶板下应设置加劲肋；两相邻梁间应留一些空隙便于安装时调节，最后嵌入合适的垫板并用螺栓相连。

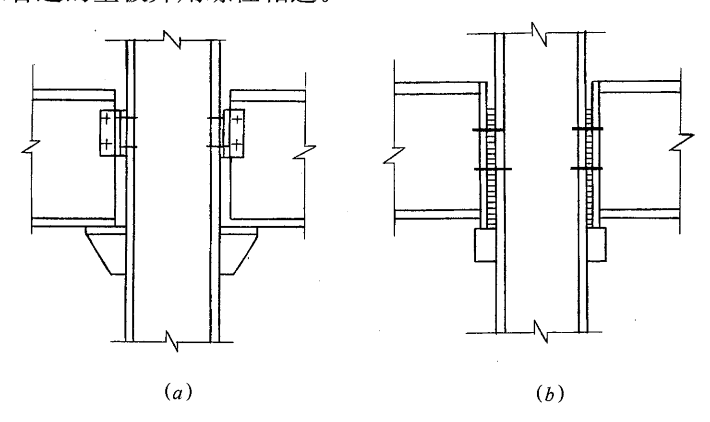


图 12-38　梁与柱侧相连

图 12-37 是梁与柱侧相连，常用于多层框架中，图 12-37（*a*）适用于梁反力较小的情况，梁直接放置在柱的牛腿上，用普通螺栓相连；梁与柱侧间留一空隙，用角钢和构造螺栓相连。图 12-37（*b*）做法适用于梁反力较大情况，梁的反力由端加劲肋传给支托；支托采用厚钢板或加劲后的角钢与柱侧用焊缝相连；梁与柱侧仍留一空隙，安装后用垫板和螺栓相连。

（二）梁与柱的刚接

刚接的构造要求是不仅传递反力且能有效地传递弯矩。图 12-39 是梁与柱刚接的一种构造形式。这里，梁端弯矩由焊于柱翼缘的上下水平连接板传递，梁端剪力由连接于梁腹板的垂直肋板传递。为保证柱腹板不至于压坏或局部失稳以及柱翼缘板受拉发生局部弯曲，通常都设置水平加劲肋。

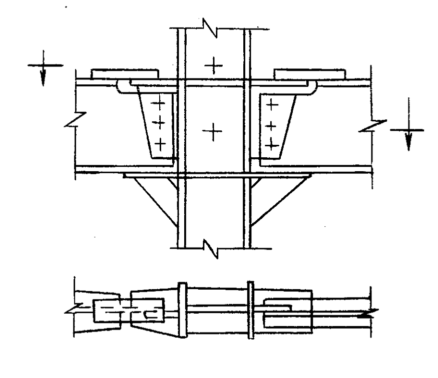


图 12-39　梁与柱刚接

三、柱脚

柱脚的作用是把柱下端固定并将其内力传给基础。由于混凝土的强度远低于钢材的强度，所以必须把柱的底部放大，以增加其与基础顶部的接触面积。

（一）铰接柱脚

铰接柱脚主要传递轴心压力。因此，轴心受压柱脚一般都做成铰接。当柱轴压力较小时，可采用图 12-40（*a*）的构造形式，柱通过焊缝将压力传给底板，由底板再传给基础。当柱轴压力较大时，为增加底板的刚度又不使底板太厚以及减小柱端与底板间连接焊缝的长度，通常采用图12-40（*b*）、（*c*）、（*d*）的构造形式，在柱端和底板间增设一些中间传力零件，如靴梁、隔板和肋板等。图12-40（*b*)所示加肋板的柱脚，此时底板宜做成正方形；图 12-40（*c*）所示加隔板的柱脚，底板常做成长方形。图 12-40（*d*）为格构式轴心受压柱的柱脚。

柱脚通常采用埋设于基础的锚栓来固定。铰接柱脚沿轴线设置 2～4 个紧固于底板上的锚栓，锚栓直径 20～30mm，底板孔径应比锚栓直径大 1～1.5 倍，待柱就位并调整到设计位置后，再用垫板套住锚栓并与底板焊牢。

（二）刚接柱脚

图 12-41 是常见的刚接柱脚，一般用于压弯柱。图 12-41(*a*)是整体式柱脚，用于实腹柱和肢件间距较小的格构柱。当肢件间距较大时，为节省钢材，多采用分离式柱脚[图 12-41(*b*)]。

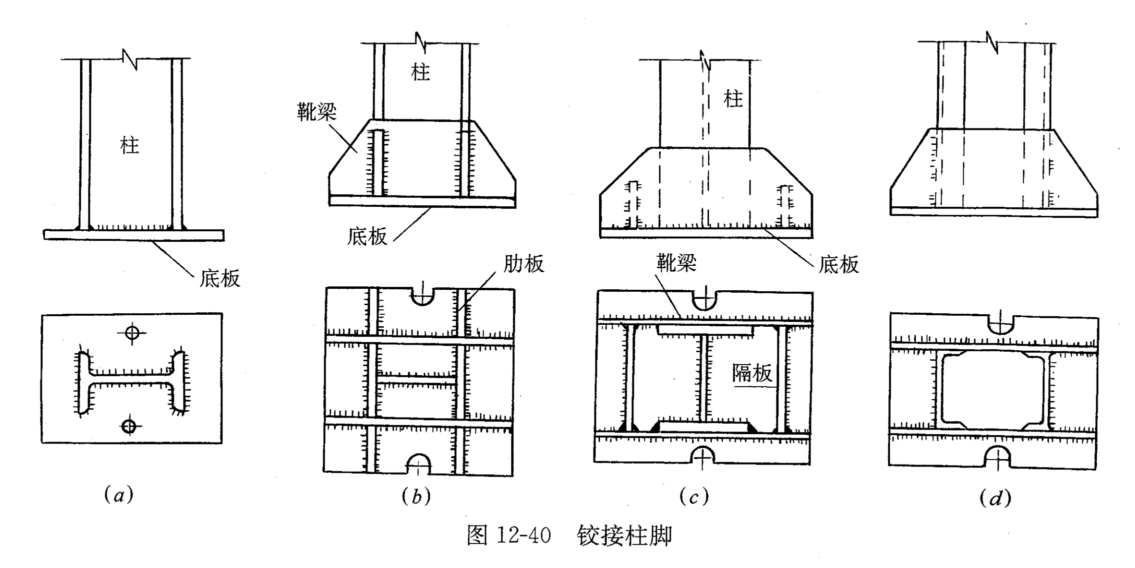


图 12-40　铰接柱脚

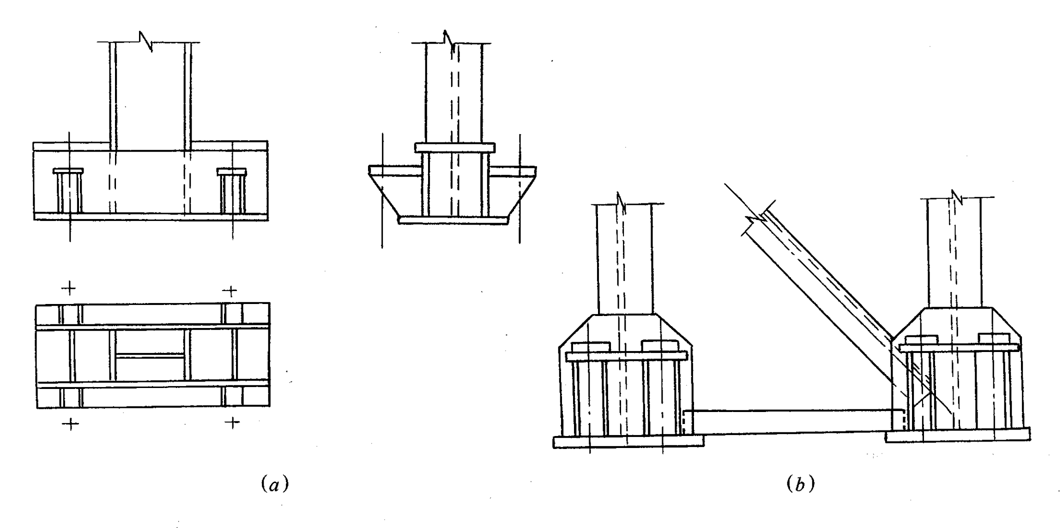

(a) (b)

图 12-41　刚接柱脚

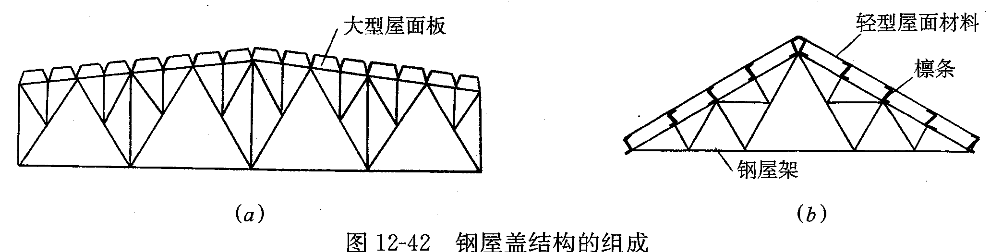
刚接柱脚传递轴力、剪力和弯矩。剪力主要由底板与基础顶面间摩擦传递。在弯矩作用下，若底板范围内产生拉力，则由锚栓承受，故锚栓须经过计算确定。锚栓不宜固定在底板上，而应采用图 12-41 所示的构造，在靴梁两侧焊接两块间距较小的肋板，锚栓固定在肋板上面的水平板上。为方便安装，锚栓不宜穿过底板。

第六节　钢 屋 盖 结 构

一、钢屋盖结构的组成

钢屋盖结构是由屋面、屋架和支撑三部分组成。

根据屋面材料和屋面结构布置情况不同，可分为无檩屋盖和有檩屋盖两种（图 12-42)。无檩屋盖是由钢屋架直接支承大型屋面板；有檩屋盖是在钢屋架上放檩条，在檩条上再铺设石棉瓦、预应力混凝土槽板、钢板网水泥槽形板、大波瓦等轻型屋面材料，由于这些轻型屋面材料的跨度较小，故需要在屋架之间设置檩条。



(a) (b)

图 12-42　钢屋盖结构的组成

（a）无檩屋盖；（b）有檩屋盖

无檩屋盖的承重构件仅有钢屋架和大型屋面板，故构件种类和数量都少，安装效率高，施工进度快，便于做保温层，而且屋盖的整体性好，横向刚度大，能耐久，在工业厂房中普遍采用。但也有不足之处，即大型屋面板自重大，用料费、运输和安装不便。

有檩屋盖的承重构件有钢屋架、檩条和轻型屋面材料，故构件种类和数量较多，安装效率低。但是，结构自重轻、用料省、运输和安装方便。

二、钢屋架

屋架的外形、弦杆节间的划分和腹杆布置，应根据房屋的使用要求、屋面材料、荷载、跨度、构件的运输条件以及有无天窗或悬挂式起重设备等因素，按下列原则综合考虑：

1. 屋架的外形应与屋面材料所要求的排水坡度相适应。

2. 屋架的外形尽可能与其弯矩图相适应，使弦杆各节间的内力相差不大。

3. 腹杆的布置要合理。腹杆的总长度要短，数目要少，并应使较长的腹杆受拉、较短的腹杆受压。尽可能使荷载作用于屋架的节点上，避免弦杆受弯。杆件的交角不要小于 30°。

4. 节点构造要简单合理、易于制造。当屋架的跨度或高度超过运输界限尺寸时，应尽可能将屋架分为若干个尺寸较小的运送单元。

5. 对于设有天窗架或悬挂式起重运输设备的房屋，还要配合天窗架的尺寸和悬挂吊点的位置来划分和布置腹杆。

三、钢屋盖的支撑

在屋盖结构中，仅仅将简支在柱顶的屋架用大型屋面板或檩条联系起来，它仍是一种几何可变体系，这样的屋盖体系是不稳定的，承担不了水平风荷载的作用。在水平荷载作用下所有的屋架有向同一个方向倾倒的危险[图 12-43(*a*)]。为了保证房屋的安全，适用和满足施工要求，就要保证结构的稳定性，提高房屋的整体刚度，在体系中就必须设置支撑，将屋架、天窗架、山墙等平面结构互相联系起来成为稳定的空间体系[图 12-43(*b*)]。

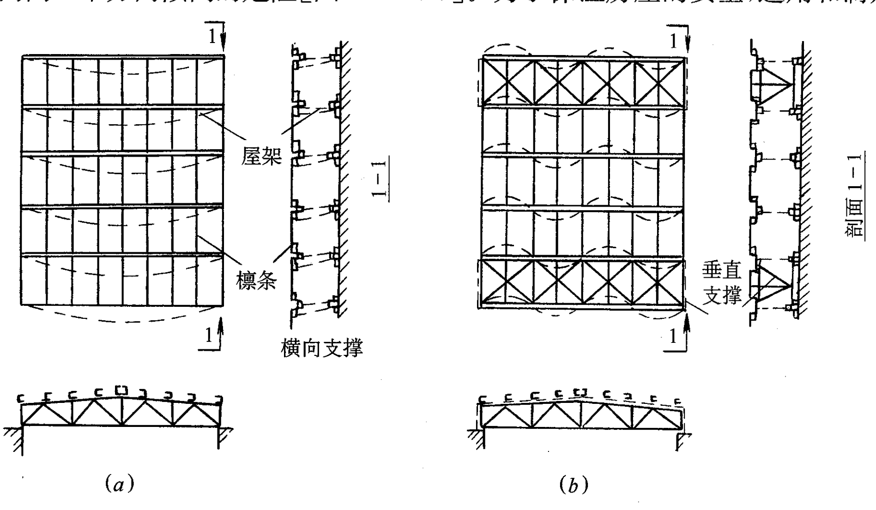


图 12-43　屋盖结构简图

(*a*)屋架没有支撑时整体丧失稳定的情况；(*b*)布置支撑后屋盖稳定，屋架上弦自由长度减小

根据支撑设置部位和所起作用的不同，可将支撑分为上弦横向支撑、下弦横向水平支撑、下弦纵向水平支撑、垂直支撑和系杆五种，见图 12-44 和图 12-45。

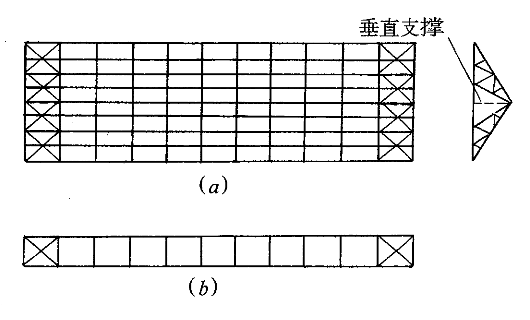


图 12-44　支撑布置示例(有檩屋盖)

(*a*)上弦横向支撑；(*b*)垂直支撑

四、钢结构的防锈处理

钢结构除必须采取防锈措施（彻底除锈后，涂以油漆和镀锌等）外，尚应在构造上

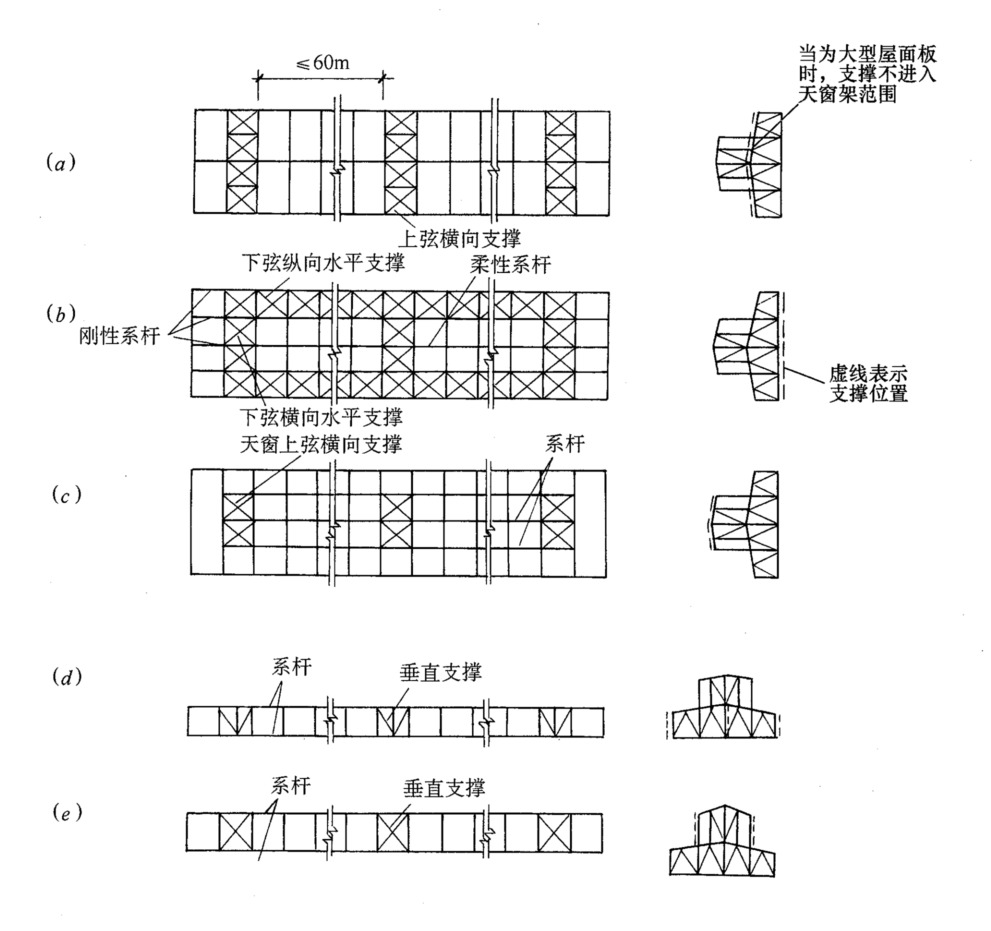


图 12-45　设有天窗的梯形屋架支撑布置示例（无檩屋盖）

（*a*）屋架上弦横向支撑；（*b*）屋架下弦水平支撑；（*c*）天窗上弦横向支撑；

（*d*）屋架跨中及支座处的垂直支撑；（*e*）天窗架侧柱垂直支撑

尽量避免出现难于检查、清刷和油漆之处，以及能积留湿气和大量灰尘的死角或凹槽。闭口截面构件应沿全长和端部焊接封闭。

柱脚在地面以下的部分应采用强度等级较低的混凝土包裹（保护层厚度不应小于50mm），并应使包裹的混凝土高过地面约 150mm。当柱脚底面在地面以上时，则柱脚底面应高出地面不小于 100mm。

受侵蚀介质作用的结构以及在使用期间不能重新油漆的结构部位应采取特殊的防锈措施。受侵蚀性介质作用的柱脚不宜埋入地下。

第七节　钢管混凝土结构

钢管混凝土结构是指在圆钢管中浇灌混凝土的构件。它的特点是：钢管和混凝土共同承受压力时，两者都产生相同的纵向压应变。与此同时，也都将引起横向拉应变。由于钢材的泊松比在弹性范围为 0.283；而混凝土在低应力状态为 0.17。因为混凝土的环向变形大于钢管的环向变形，所以受到了钢管的约束，产生了相互作用的紧箍力 P，使混凝土处于三向受压状态，不仅提高了抗压强度，而且增加了塑性，使混凝土由脆性材料转变为塑

性材料（图 12-46）。由于有混凝土的存在，保证了薄壁钢管的局部稳定，使钢材的强度得到充分的发挥。

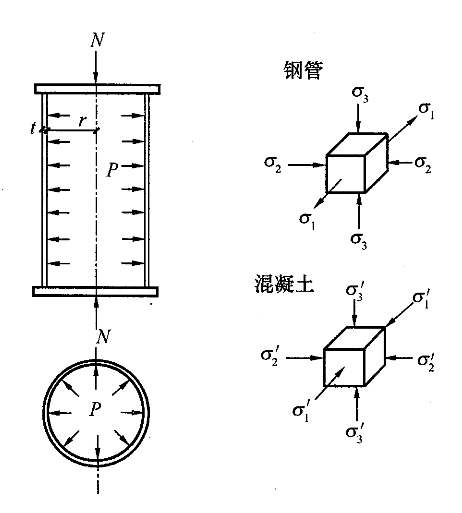


图 12-46　混凝土与钢管的应力状态

钢管混凝土的另一个特点是：抗压承载力高，约为钢管和混凝土各自强度承载力之和的 1.5～2 倍，塑性（延性）和韧性好，经济效果显著。比钢柱可节约 50％钢材，造价可降低 45％；比钢筋混凝土柱可节约混凝土约 70％，减轻自重 50％以上，且不需要模板，用钢量和造价约相等或略高，施工简便，可大大缩短工期。

习　题

12-1　对于民用建筑承受静载的钢屋架，下列关于选用钢材钢号和对钢材要求的叙述中，何者是不正确的？（　　）

A　可选用 Q235 钢

B　可选用 Q345 钢

C　钢材须具有抗拉强度、屈服强度、伸长率的合格保证

D　钢材须具有常温冲击韧性的合格保证

12-2　以下关于常用建筑钢材的叙述中，何者是错误的？（　　）

A　建筑常用钢材一般分为普通碳素钢和普通低合金钢两大类

B　普通碳素钢随钢号增大，强度提高、伸长率降低

C　普通碳素钢随钢号增大，强度提高、伸长率增加

D　普通碳素钢按炼钢炉种分为平炉钢、氧气转炉钢、空气转炉钢三种，按脱氧程度分沸腾钢、镇静钢、半镇静钢三种

12-3　以下关于钢材规格的叙述，何者是错误的？（　　）

A　热轧钢板－600×10×12000 代表钢板宽 600mm，厚 10mm，长 12m

B　角钢 L100×10 代表等边角钢，肢宽 100mm，厚 10mm

C　角钢 L100×80×8 代表不等边角钢，长肢宽 100mm，短肢宽 800mm，厚 8mm

D　工字钢，$I40_a$、$I40_b$、$I40_c$ 代表工字钢，高均为 400mm，其下标表示腹板厚类型，其中下标为 a 者比 b 厚，b 比 c 厚

12-4　以下关于钢屋盖支撑的叙述中，何者是错误的？（　　）

A　在建筑物的纵向，上弦横向水平支撑、下弦横向水平支撑、屋盖垂直支撑、天窗架垂直支撑应设在同一柱间

B　当采用大型屋面板，且每块板与屋架保证三点焊接时，可不设置上弦横向水平支撑（但在天窗架范围内应设置）

C　下柱柱间支撑应设在建筑物纵向的两尽端

D　纵向水平支撑应设置在屋架下弦端节间平面内，与下弦横向水平支撑组成封闭体系

12-5　以下关于钢屋架设计的叙述中，何者是错误的？（　　）

A　屋架外形应与屋面材料所要求的排水坡度相适应

B　屋架外形尽可能与弯矩图相适应

C　屋架杆件布置要合理，宜使较长的腹杆受压，较短的腹杆受拉

D　宜尽可能使荷载作用在屋架节点上，避免弦杆受弯

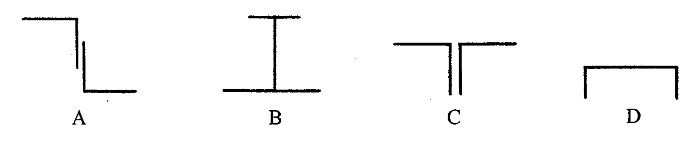
12-6　钢屋架和檩条组成的钢结构屋架体系，设置支撑系统的目的是（　　）。

Ⅰ.承受纵向水平力；Ⅱ.保证屋架上弦出平面的稳定；Ⅲ.便于屋架的检修和维修；Ⅳ.防止下弦过大的出平面的振动

A　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　B　Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

C　Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ　　D　Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ

12-7　下列各种型钢，哪一种适合做楼面梁？（　　）



题 12-7 图

12-8　相同牌号同一规格钢材的下列强度设计值中，哪三项取值相同？（　　）

Ⅰ.抗拉；Ⅱ.抗压；Ⅲ.抗剪；Ⅳ.抗弯；Ⅴ.端面承压

A　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　B　Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ　　C　Ⅰ、Ⅳ、Ⅴ　　D　Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ

12-9　下列哪一项与钢材可焊性有关？（　　）

A　塑性　　B　韧性　　C　冷弯性能　　D　疲劳性能

12-10　钢结构手工焊接连接，下列哪种钢材与 E43 型焊条相适应？（　　）

A　Q235 钢　　B　Q345 钢　　C　Q390 钢　　D　Q420 钢

12-11　需要验算疲劳的焊接吊车钢梁不应采用下列哪种钢材？（　　）

A　Q235 沸腾钢　　B　Q235 镇静钢　　C　Q345 钢　　D　Q390 钢

12-12　下列关于钢构件长细比的表述中，哪项正确？（　　）

A　长细比是构件长度与构件截面高度之比

B　长细比是构件长度与构件截面宽度之比

C　长细比是构件对主轴的计算长度与构件截面高度之比

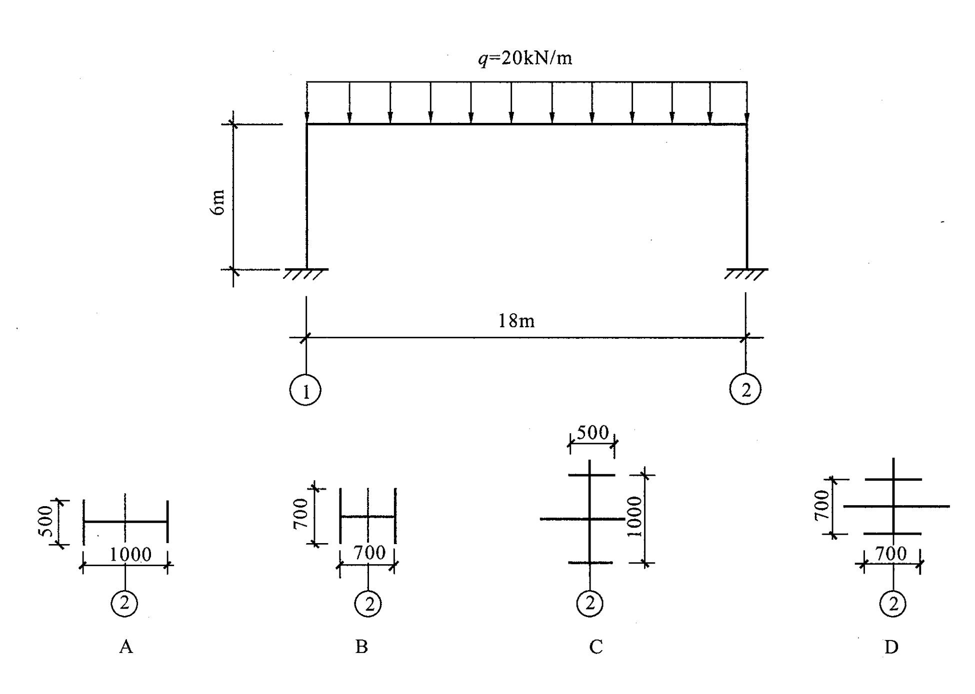
D　长细比是构件对主轴的计算长度与构件截面对主轴的回转半径之比

12-13　某单跨钢框架如下页图，问柱截面下列四种布置中何种最为合适（提示：不考虑其他专业的要求，钢梁钢柱稳定有保证，各柱截面面积相等）？（　　）

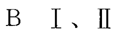
12-14　图示钢梯，下列对踏步板作用的表述，哪几项是正确的？（　　）

Ⅰ.承受踏步荷载；Ⅱ.有利于钢梯梁的整体稳定；Ⅲ.有利于提高两侧钢板梁的承载力；Ⅳ.有利于两侧钢板梁的局部稳定

A　Ⅰ、Ⅲ



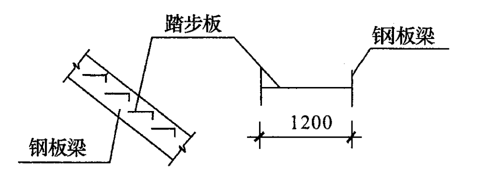
题 12-13 图



B　Ⅰ、Ⅱ

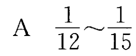
C　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ



题 12-14 图

12-15　跨度为 30～60m 的平板网架，其高度与跨度的比值，下列中哪一个数值范围是合适的？（　　）



A　$\frac{1}{12}$～$\frac{1}{15}$　　B　$\frac{1}{18}$～$\frac{1}{20}$

C　$\frac{1}{25}$～$\frac{1}{30}$　　D　$\frac{1}{30}$～$\frac{1}{40}$

12-16　有采暖设施的单层钢结构房屋，其纵向温度区段适宜的最大长度值是（　　）。

A　150m　　B　160m

C　180m　　D　220m

12-17　钢材的对接焊缝能承受的内力，下列中哪一种说法是准确的？（　　）

A　能承受拉力和剪力　　B　能承受拉力，不能承受弯矩

C　能承受拉力、剪力和弯矩　　D　只能承受拉力

12-18　钢结构焊缝的质量等级分为（　　）级。

A　二　　B　三

C　四　　D　五

12-19　下列关于钢材性能的评议中，哪一项是正确的？（　　）

A　抗拉强度与屈服强度比值越小，越不容易产生脆性断裂

B　建筑钢材的焊接性能主要取决于碳含量

C　非焊接承重结构的钢材不需要硫、磷含量的合格保证

D　钢材冲击韧性不受工作温度变化影响

12-20　下列钢材的物理力学性能指标中，哪种与钢材厚度有关？（　　）

A　弹性模量　　B　剪变模量

C 设计强度　　D 线膨胀系数

12-21 对钢结构中的受力构件，其杆件选择下列中哪项不正确？（　　）

A 不宜选用厚度小于 4mm 的钢板

B 不宜选用壁厚小于 4mm 的钢管

C 对焊接结构不宜选用截面小于 L45×4 的等边角钢

D 对焊接结构不宜选用截面小于 L56×36×4 的不等边角钢

12-22 柱间支撑构件的代号是（　　）。

A CC　　B SC

C ZC　　D HC

12-23 在结构平面图中，柱间支撑的标注，下列中哪一种形式是正确的？（　　）

A　B　C　D

题 12-23 图

12-24 钢结构设计中，永久螺栓的表示方法，下列中哪一个是正确的？（　　）

A　B　C　D

题 12-24 图

12-25 某体育场设计中采用了国产钢材 Q460E，其中 460 是指（　　）。

A 抗拉强度标准值　　B 抗拉强度设计值

C 抗压强度标准值　　D 抗压强度设计值

12-26 提高 H 形钢梁整体稳定的有效措施之一是（　　）。

A 加大受压翼缘宽度　　B 加大受拉翼缘宽度

C 增设腹板加劲肋　　D 增加构件的长细比

12-27 关于钢结构材料的特性，下列何项论述是错误的？（　　）

A 具有高强度　　B 具有良好的耐腐蚀性

C 具有良好的塑性　　D 耐火性差

12-28 对钢管混凝土柱中钢管作用的下列描述，何者不正确？（　　）

A 钢管对管中混凝土起约束作用

B 加设钢管可提高柱子的抗压承载能力

C 加设钢管可提高柱子的延性

D 加设钢管可提高柱子的长细比

12-29 与钢梁整浇的混凝土楼板的作用是（　　）。

A 仅有利于钢梁的整体稳定

B 有利于钢梁的整体稳定和上翼缘稳定

C 有利于钢梁的整体稳定和下翼缘稳定

D 有利于钢梁的整体稳定和上、下翼缘稳定

12-30 高层钢结构房屋钢梁与钢柱的连接，目前我国一般采用下列何种方式？（　　）

A 螺栓连接　　B 焊接连接

C 栓焊混合连接　　　　　　　　D 铆接连接

12-31 关于钢结构梁柱板件宽厚比限值的规定，下列哪一种说法是不正确的？（　　）

A 控制板件宽厚比限值，主要保证梁柱具有足够的强度

B 控制板件宽度比限值，主要防止构件局部失稳

C 箱形截面壁板宽厚比限值，比工字形截面翼缘外伸部分宽厚比限值大

D Q345 钢材比 Q235 钢材宽厚比限值小

12-32 对常用厚度的钢材（8～80mm），随着厚度的增加，以下说法正确的是（　　）。

A 钢材冷弯性能增加　　　　　　B 钢材强度增加

C 钢材可焊性能增加　　　　　　D 钢材 Z 向性能下降

12-33 下列关于建筑采用的碳素钢中，碳含量对钢材影响的叙述何项错误？（　　）

A 碳含量越高，钢材的强度也越高

B 碳含量越高，钢材的塑性、韧性越好

C 碳含量越高，钢材的可焊性越低

D 建筑采用的碳素钢材只能是低碳钢

参 考 答 案

12-1 D	12-2 C	12-3 D	12-4 C	12-5 C	12-6 A
12-7 B	12-8 B	12-9 A	12-10 A	12-11 A	12-12 D
12-13 A	12-14 D	12-15 A	12-16 D	12-17 C	12-18 B
12-19 B	12-20 C	12-21 B	12-22 C	12-23 C	12-24 A
12-25 A	12-26 A	12-27 B	12-28 D	12-29 B	12-30 C
12-31 A	12-32 D	12-33 B			

第十三章　砌体结构设计

第一节　砌体材料及其力学性能

一、砌体分类

砌体是由各种块材和砂浆按一定的砌筑方法砌筑而成的整体，分为无筋砌体和配筋砌体两大类。无筋砌体又因所用块材不同分为砖砌体、砌块砌体和石砌体。在砌体水平灰缝中配有钢筋或在砌体截面中配有钢筋混凝土小柱者称为配筋砌体。

（一）砖砌体

由砖与砂浆砌筑而成的砌体，其中砖包括实心黏土砖和黏土空心砖。

1. 实心黏土砖（简称实心砖）

实心黏土砖具有全国统一的规格，其尺寸为240mm×115mm×53mm，它以黏土为主要原料，经过焙烧而成，其保温隔热及耐久性能良好，强度也较高，是最常见的砌体材料。由于黏土材料耗费广大耕地，从保护土地资源考虑，目前实心黏土砖的应用受到政策上的限制。

2. 黏土空心砖（简称空心砖）

为了减轻砌体自重，保护农田资源，近来我国部分地区生产了不同孔洞形状和不同孔洞率的黏土空心砖。由于做成部分孔洞，因此自重较轻，保温隔热性能有了进一步改善。

由于孔洞方向不同，黏土空心砖分为竖孔空心砖和水平孔空心砖两类。竖孔空心砖孔洞率一般为15%～20%，以免强度降低过多影响使用。砌筑时由于孔洞垂直于受压面，强度较高，可用于承重墙，其强度等级划分同实心砖。水平孔空心砖可采用较大的孔洞率，一般为40%～50%，以取得更好的隔热、隔声性能。砌筑时孔洞平行于承压面，故强度较低，一般只能用于外承重隔墙或框架填充墙。承重用混凝土小型空心砌块空心率为25%～50%。

在竖孔空心砖型号中，字母K表示空心；M表示模数，P表示普通，见图13-1。普通空心砖KP1重量较轻，可与标准砖配合使用；砍砖容易，不需配砖，因此在部分地区用得较多。普通空心砖KP2也能与标准砖配合使用，但砍砖较多，施工时尚需辅助规格的配砖。模数空心砖KM1不能与普通标准砖配合使用，同时在拐角、T字形接头处，由于错缝要求，还需要辅助规格的配砖。

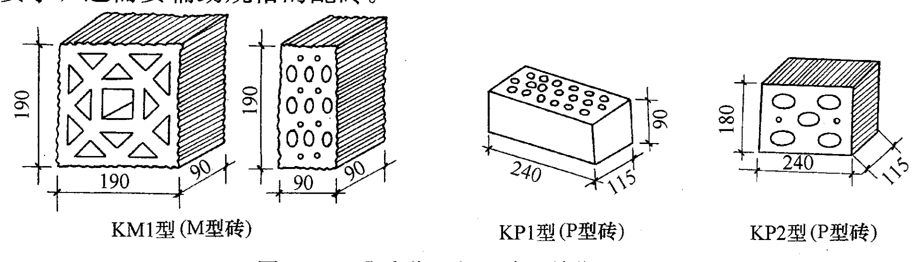


图13-1　承重黏土空心砖（单位：mm）

目前，国家标准对空心砖的孔洞形状、孔洞率及布置方式未作统一规定，因此各地区产品不尽相同。

（二）砌块砌体

由砌块与砂浆砌筑而成，砌块材料有混凝土、粉煤灰等。目前，我国常用的有混凝土中、小型空心砌块和粉煤灰中型砌块。小型砌块高度为180～350mm，中型砌块高度为360～900mm，见图13-2。小型砌块由于重量较轻，可用手工砌筑，因此应用较广。中型砌块采用机械施工。大型砌块由于起重设备的限制，很少应用。

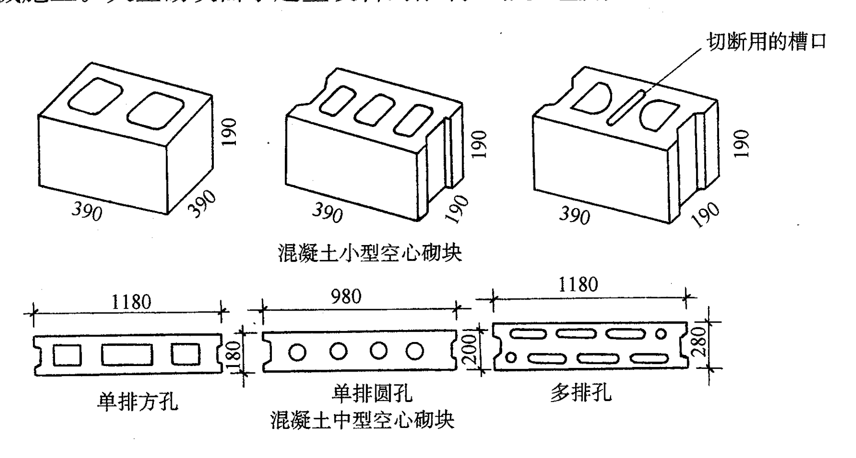


图13-2　混凝土中、小型空心砌块（单位：mm）

（三）配筋砌体

在砌体中配置钢筋或钢筋混凝土时，称为配筋砖砌体。目前，我国采用的配筋砌体有：

1. 网状配筋砖砌体

在砌体水平灰缝中配置双向钢筋网，可加强轴心受压或偏心受压墙（或柱）的承载能力［图13-3（*a*）］。

2. 组合砌体

由砌体和钢筋混凝土组成，钢筋混凝土薄柱也可用钢筋砂浆面层代替［图13-3（*b*）］。主要用于偏心受压墙、柱。

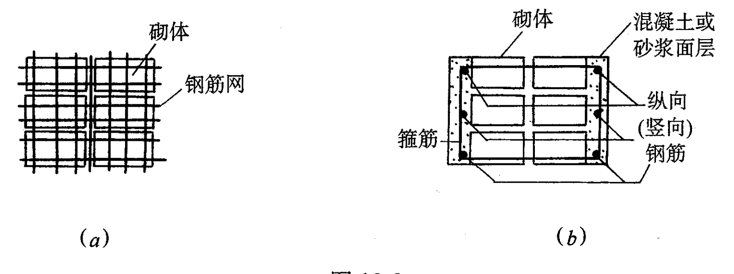


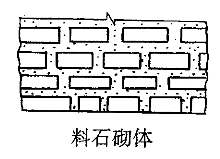
图13-3

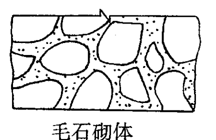
（*a*）网状配筋砌体；（*b*）组合砌体

此外，在砌体结构拐角处或内外墙交接处放置的钢筋混凝土构造柱，也是一种重要的组合砌体，但其作用只是对墙体变形起约束作用，提高房屋抗震能力。

（四）石砌体

由石材和砂浆或由石材和混凝土砌筑而成（图 13-4）。石砌体可用作一般民用建筑的承重墙、柱和基础。


料石砌体


毛石砌体

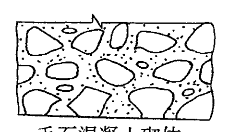

毛石混凝土砌体

图 13-4　石砌体

（五）构造柱

在砌体中做钢筋混凝土柱，砌体与柱交接处做成马牙槎，先砌墙后打混凝土，柱沿高度预留拉接筋，与墙拉接在一起。

二、砌体材料的强度等级

块材和砂浆的强度等级，依据其抗压强度来划分。它是确定砌体在各种受力情况下强度的基本数据。

（一）烧结普通砖、烧结多孔砖的强度等级：分为 5 级，以 MU 表示，单位为 MPa，即 MU30、MU25、MU20、MU15、MU10。砖的抗压强度应根据抗压强度和抗折强度综合评定。

（二）蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖的强度等级：分为 3 级，即 MU25、MU20、MU15。

（三）砌块的强度等级：分为 5 级，即 MU20、MU15、MU10、MU7.5、MU5。

（四）石材的强度等级：由边长为 70mm 的立方体试块的抗压强度来表示，可分为 7 级，即 MU100、MU80、MU60、MU50、MU40、MU30、MU20。

（五）砂浆的强度等级：由边长为 70.7mm 的立方体试块，在标准条件下养护，进行抗压试验，取其抗压强度平均值。砂浆强度等级分为 5 级，以 M 表示，即 M15、M10、M7.5、M5、M2.5，当验算施工阶段砌体承载力时，砂浆强度取为 0。

三、砌体的受力性能

（一）砌体受压破坏特征

砖砌体轴心受压时，从加载至破坏，可分为三个阶段。

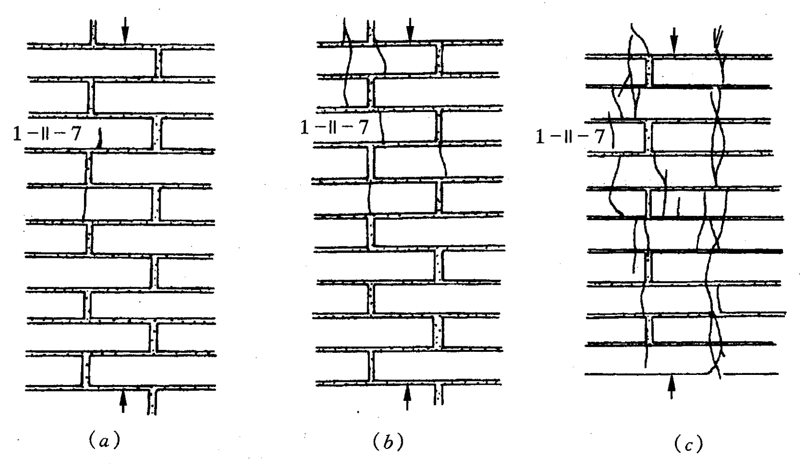


图 13-5　砖砌体轴心受压破坏过程

(*a*) 出现第一道裂缝 $N=(0.5\sim0.7)N_u$；

(*b*) 形成连续裂缝 $N=(0.8\sim0.9)N_u$；(*c*) 裂缝形成独立小柱，向外鼓出，破坏 $N=N_u$

N_u——破坏荷载

第一阶段：从开始加载到出现第一条裂缝［图 13-5（*a*）］，其压力约为破坏时压力的 50%～70%；

第二阶段：随着压力增加，单块砖内的裂缝不断发展，并沿竖向通过若干皮砖，同时产生新的裂缝［图 13-5（*b*）］。此时，即使压力不再增加，裂缝仍会继续开展。砌体已处于临界破坏状态，其压力约为破坏时压力的 80%～90%；

第三阶段：压力继续增加，裂缝加长加宽，使砌体型成若干小柱体，砖被压碎或小柱体失稳，整个砌体也随之破坏［图 13-5（*c*）］。此时，以破坏时的压力除以砌体横截面面积所得应力即称为砌体的极限强度。

（二）砌体受压时的应力状态

1. 砌体中的块材受有弯剪应力

在砌体中，由于灰缝厚度不一，砂浆饱满度不均匀及块体表面不平整，使砌体受压时块体并非均匀受压，而是处于弯剪应力状态（图 13-6）。

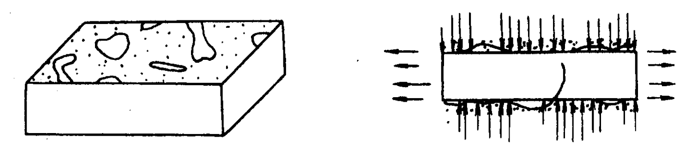


图 13-6　砌体内砖的复杂受力状态示意

2. 砌体中的块材受有水平拉应力

块材与砂浆的弹性模量与变形系数存在差异，一般情况下块材的横向变形比中等强度以下砂浆的横向变形小。砌体受压时，由于两者共同工作，砌体的变形将介于块材变形与砂浆层变形之间。块材的横向变形因受砂浆层的影响而增大，块材中产生横向拉应力。砂浆的横向变形则因受到块材的影响而减小，使砂浆中产生横向压应力（图 13-7），从而使砂浆处于三向受压状态。

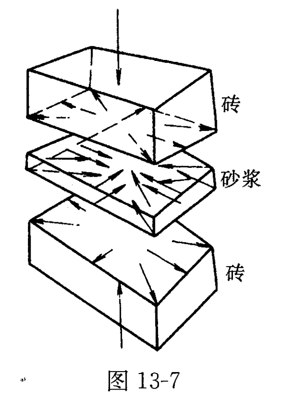
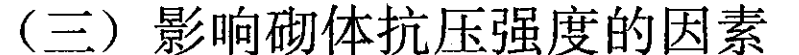


图 13-7

3. 竖向灰缝的应力集中

由于砌体内的竖向灰缝不饱满，因此灰缝中的砂浆与块材间的黏结力难以保证砌体的整体性，块材在竖向灰缝中易产生应力集中，因而加速了块材的开裂，引起砌体强度的降低。

综上所述，砌体受压时单块块材处在复杂应力状态下工作，使块材抗压强度不能充分发挥，因此，砌体的抗压强度低于所用块材的抗压强度。



（三）影响砌体抗压强度的因素

1. 块材和砂浆强度的影响

块材和砂浆强度是影响砌体抗压强度的主要因素，砌体强度随块材和砂浆强度的提高而提高。对提高砌体强度而言，提高块材强度比提高砂浆强度更有效。

一般情况下，砌体强度低于块材强度。当砂浆强度等级较低时，砌体强度高于砂浆强度；当砂浆强度等级较高时，砌体强度低于砂浆强度。

2. 块材的表面平整度和几何尺寸的影响

块材表面愈平整，灰缝厚薄愈均匀，砌体的抗压强度可提高。当块材翘曲时，砂浆层

严重不均匀，将产生较大的附加弯曲应力使块材过早破坏。

块材高度大时，其抗弯、抗剪和抗拉能力增大；块材较长时，在砌体中产生的弯剪应力也较大。

3. 砌筑质量的影响

砌体砌筑时水平灰缝的均匀性、厚度、饱满度、砖的含水率及砌筑方法，均影响到砌体的强度和整体性。水平灰缝厚度应为 8～12mm（一般宜为 10mm）；水平灰缝饱满度应不低于 80％，竖向灰缝饱满度不低于 40％。砌体砌筑时，应提前将砖浇水湿润，含水率不宜过大或过低（一般要求控制在 10％～15％）；砌筑时砖砌体应上下错缝，内外搭接。

四、砌体的受拉、受弯和受剪性能

（一）砌体轴心受拉

根据拉力作用方向，有三种破坏形态（图 13-8）。当轴心拉力与砌体水平灰缝平行时，砌体可能沿灰缝 Ⅰ-Ⅰ 截面破坏［图 13-8（*a*）］，也可能沿块体和竖向灰缝破坏［图 13-8（*b*）］；当轴心拉力与砌体水平灰缝垂直时，砌体沿通缝截面破坏［图 13-8（*c*）］。

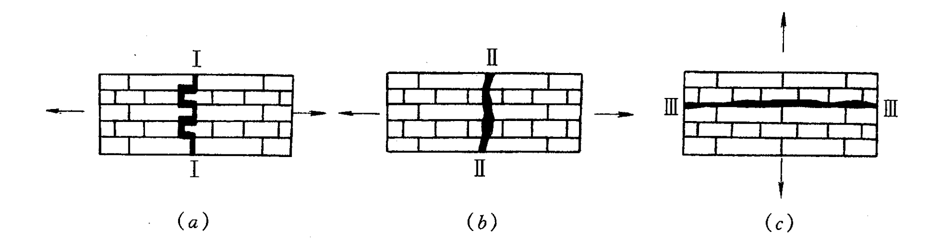


图 13-8　砖砌体轴心受拉破坏形态

（*a*）砌体沿齿缝破坏；（*b*）砌体沿块体和竖向灰缝破坏；（*c*）砌体沿通缝破坏

当块材强度较高而砂浆强度较低时，砌体沿齿缝受拉破坏；当块材强度较低而砂浆强度较高时，砌体受拉破坏可能通过块体和竖向灰缝连成的截面发生。

（二）砌体弯曲受拉

砌体弯曲受拉时，有三种破坏形态（图 13-9）。即砌体沿齿缝破坏；沿块体和竖向灰缝破坏和沿通缝破坏。

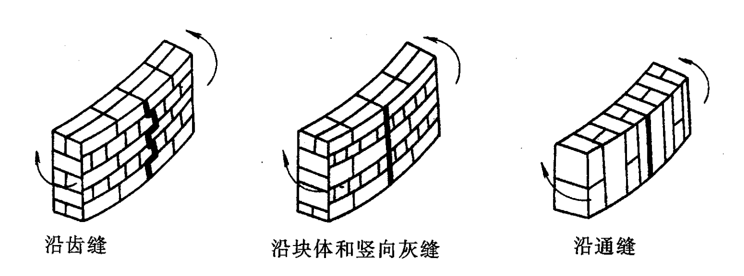


图 13-9　砌体弯曲受拉破坏形态

（三）砌体抗剪强度

砌体受抗剪破坏时，有三种破坏形态。即沿通缝剪切破坏；沿齿缝剪切破坏；沿阶梯形缝剪切破坏（图 13-10）。

影响砌体抗剪强度的因素有：

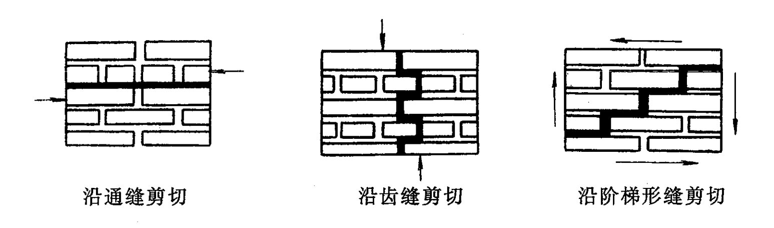


图 13-10　砌体剪切破坏形态

1. 砂浆强度的影响

砌体抗剪强度随砂浆强度等级的提高而提高，但块体强度对抗剪强度的影响较小。

2. 竖向压应力的影响

当竖向压应力与剪应力之比在一定范围内时，砌体的抗剪强度随竖向压应力的增加而提高。

3. 砌筑质量的影响

主要与砂浆饱满度和砌筑时块体的含水率有关。当砌体内水平灰缝砂浆饱满度大于92%，竖向灰缝内未灌砂浆；或当水平灰缝砂浆饱满度大于80%，竖向灰缝内砂浆饱满度大于40%时，砌体的抗剪强度可达到规范规定值。

砖砌筑时，随含水量的增加砌体抗剪强度相应提高。当砖含水量约为10%时，砌体抗剪强度最高。

砌体抗剪强度主要取决于水平灰缝中砂浆与块体的黏结强度。

第二节　砌体房屋的静力计算

房屋中的墙、柱等竖向构件用砌体材料，屋盖、楼盖等水平承重构件用钢筋混凝土或其他材料建造的房屋，由于采用了两种或两种以上材料，称为混合结构房屋，或称为砌体结构房屋。砌体的各种强度设计值见表 13-1。

沿砌体灰缝截面破坏时砌体的轴心抗拉强度设计值、弯曲抗拉强度设计值和抗剪强度设计值（MPa）　　**表 13-1**

强度类别	破坏特征及砌体种类		砂浆强度等级			
			≥M10	M7.5	M5	M2.5
轴心抗拉	沿齿缝	烧结普通砖、烧结多孔砖	0.19	0.16	0.13	0.09
		混凝土普通砖、混凝土多孔砖	0.19	0.16	0.13	—
		蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖	0.12	0.10	0.08	—
		混凝土和轻集料混凝土砌块	0.09	0.08	0.07	—
		毛石	—	0.07	0.06	0.04
弯曲抗拉	沿齿缝	烧结普通砖、烧结多孔砖	0.33	0.29	0.23	0.17
		混凝土普通砖、混凝土多孔砖	0.33	0.29	0.23	—
		蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖	0.24	0.20	0.16	—
		混凝土和轻集料混凝土砌块	0.11	0.09	0.08	—
		毛石	—	0.11	0.09	0.07

续表

强度类别	破坏特征及砌体种类		砂浆强度等级			
			≥M10	M7.5	M5	M2.5
弯曲抗拉	沿通缝	烧结普通砖、烧结多孔砖	0.17	0.14	0.11	0.08
		混凝土普通砖、混凝土多孔砖	0.17	0.14	0.11	—
		蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖	0.12	0.10	0.08	—
		混凝土和轻集料混凝土砌块	0.08	0.06	0.05	—
抗剪	烧结普通砖、烧结多孔砖		0.17	0.14	0.11	0.08
	混凝土普通砖、混凝土多孔砖		0.17	0.14	0.11	—
	蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖		0.12	0.10	0.08	—
	混凝土和轻集料混凝土砌块		0.09	0.08	0.06	—
	毛石		—	0.19	0.16	0.11

注：1. 对于用形状规则的块体砌筑的砌体，当搭接长度与块体高度的比值小于1时，其轴心抗拉强度设计值 f_t 和弯曲抗拉强度设计值 f_{tm} 应按表中数值乘以搭接长度与块体高度比值后采用；

2. 表中数值是依据普通砂浆砌筑的砌体确定，采用经研究性试验且通过技术鉴定的专用砂浆砌筑的蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖砌体，其抗剪强度设计值按相应普通砂浆强度等级砌筑的烧结普通砖砌体采用；

3. 对混凝土普通砖、混凝土多孔砖、混凝土和轻集料混凝土砌块砌体，表中的砂浆强度等级分别为：≥Mb10、Mb7.5及Mb5。

从表13-1中可以看出，沿砌体灰缝截面破坏时，各种强度设计值与砌体破坏特征、砌体种类及砂浆强度等级有关，与块体强度等级无关，且随砂浆强度等级的提高而提高。

对无筋砌体构件，当其截面面积小于 $0.3m^2$ 时，砌体强度设计值应乘以调整系数 γ_a，γ_a 为其截面面积加0.7，构件截面面积以“m^2”计。验算施工阶段时，$\gamma_a=1.1$。

一、砌体结构房屋承重墙布置的四种方案

（一）横墙承重体系

在多层住宅、宿舍中，横墙间距较小，可做成横墙承重体系，楼面和屋面荷载直接传至横墙和基础。这种承重体系由于横墙间距小，因此房屋空间刚度较大，有利于抵抗水平风载和地震作用，也有利于调整房屋的不均匀沉降。

（二）纵墙承重体系

在食堂、礼堂、商店、单层小型厂房中，将楼、屋面板（或增设檩条）铺设在大梁（或屋架）上，大梁（或屋架）放置在纵墙上，当进深不大时，也可将楼、屋面板直接放置在纵墙上，通过纵墙将荷载传至基础，这种体系称为纵墙承重体系。

纵墙承重体系可获得较大的使用空间，但这类房屋的横向刚度较差，应加强楼、屋盖与纵墙的连接，这种体系不宜用于多层建筑物。

（三）纵横墙承重体系

在教学楼、实验楼、办公楼、医院门诊楼中，部分房屋需要做成大空间，部分房间可以做成小空间，根据楼、屋面板的跨度，跨度小的可将板直接搁置在横墙上，跨度大的方向可加设大梁，板荷载传至大梁，大梁支承在纵墙上，这样设计成纵横墙同时承重，这种体系布置灵活，其空间刚度介于上述两种体系之间。

（四）内框架承重体系

在商场、多层厂房中，常需要较大的空间，可在房屋中部设柱，大梁一端支承在柱上，另一端支承在周边承重墙上，这样，在大梁中部形成内框架承重体系。这种体系房屋横墙少，空间刚度差，且柱基础与基础形式不同，容易产生不均匀沉降。

二、砌体结构房屋静力计算的三种方案

砌体结构房屋，根据其横墙间距的大小、屋（楼）盖结构刚度的大小及山墙在自身平面内的刚度（即房屋空间刚度），可将房屋的静力计算分为三种方案，下面以单层房屋为例。

（一）刚性方案

房屋空间刚度大，在荷载作用下墙柱内力可按顶端具有不动铰支承的竖向结构计算。

（二）刚弹性方案

在荷载作用下，墙柱内力可考虑空间工作性能影响系数，按顶端为弹性支承的平面排架计算。

（三）弹性方案

可按屋架或大梁与墙（柱）为铰接的、不考虑空间工作的平面排架或框架计算。

规范根据房屋的空间工作性能分为刚性方案、刚弹性方案和弹性方案三种类型，并按房屋横墙间距确定静力计算方案。见表 13-2。

房屋的静力计算方案 **表 13-2**

	屋盖或楼盖类别	刚性方案	刚弹性方案	弹性方案
1	整体式、装配整体式和装配式无檩体系钢筋混凝土屋盖或钢筋混凝土楼盖	$s<32$	$32\leqslant s\leqslant 72$	$s>72$
2	装配式有檩体系钢筋混凝土屋盖、轻钢屋盖和有密铺望板的木屋盖或木楼盖	$s<20$	$20\leqslant s\leqslant 48$	$s>48$
3	瓦材屋面的木屋盖和轻钢屋盖	$s<16$	$16\leqslant s\leqslant 36$	$s>36$

注：1. 表中 s 为房屋横墙间距，其长度单位为“m”；
2. 当屋盖、楼盖类别不同或横墙间距不同时，可按《砌体结构设计规范》第 4.2.7 条的规定确定房屋的静力计算方案；
3. 对无山墙或伸缩缝处无横墙的房屋，应按弹性方案考虑。

对于单层砌体房屋，在风载作用下，一般可按刚性、弹性、刚弹性三种方案进行设计。

对于多层砌体房屋，在风载作用下，一般均按刚性方案设计，很少情况下按弹性方案设计。

作为刚性和刚弹性方案的横墙，为了保证屋盖水平梁的支座位移不致过大，横墙应符合下列要求，以保证其平面刚度。

1. 横墙中开有洞口时，洞口的水平截面面积不应超过横墙截面面积的 50%。

2. 横墙厚度不宜小于 180mm。

3. 单层房屋的横墙长度不宜小于其高度，多层房屋横墙长度，不宜小于 $H/2$（H 为横墙总高度）。

当横墙不能同时满足上述要求时，应对横墙刚度进行验算，如其最大水平位移值 $u_{max}\leqslant H/4000$ 时，仍可视作刚性或刚弹性方案的横墙。

三、刚性方案房屋的静力计算

（一）单层房屋承重纵墙

1. 计算单元、计算简图和荷载

对有门窗洞口的外纵墙，可取一个开间的墙体作为计算单元。对无门窗洞口的纵墙，可取 1.0m 墙体作为计算单元。

在竖向和水平荷载作用下，可将墙上端视作为不动铰支座支承于屋盖，下端嵌固于基础顶面的竖向构件，计算简图见图 13-11。

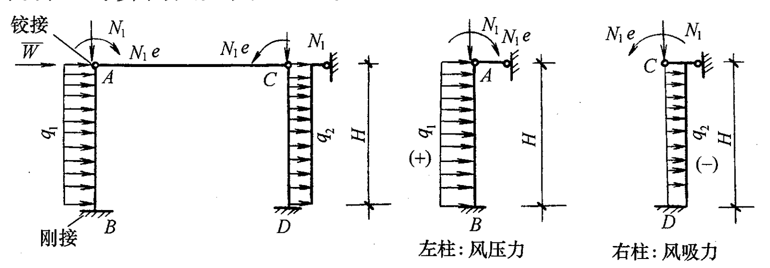


图 13-11

作用于排架上的竖向荷载（包括屋盖自重、屋面活载和雪载），以集中力 N_1 的形式作用于墙顶端。由于屋架或大梁对墙体中心线有偏心距 e，屋面竖向荷载还产生弯矩$M=N_1 \cdot e$。

作用于屋面以上的风载简化为集中力形式直接通过屋盖传至横墙，对纵墙不产生内力。作用于墙面上的风荷载为均布荷载，迎风面为压力，背风面为吸力。

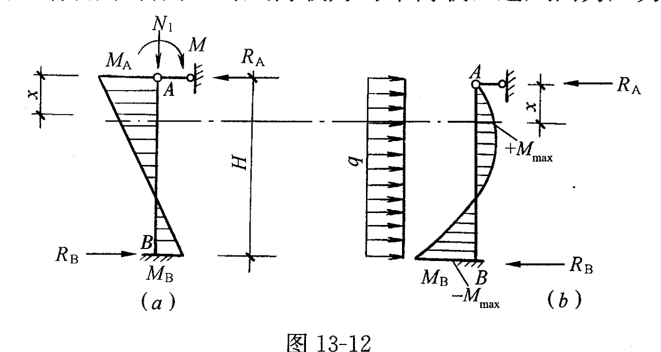


图 13-12

(*a*) 竖向荷载作用下；(*b*) 水平荷载作用下

墙体自重作用于墙体中心线上，对等截面墙时，墙体自重不产生弯矩。

2. 内力计算

竖向荷载作用下，内力如图 13-12 (*a*)所示。

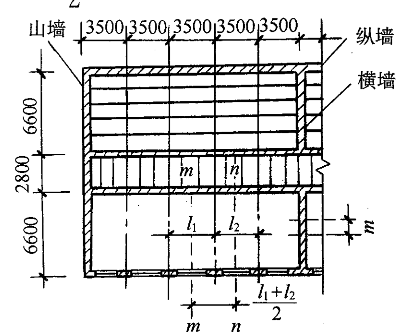
水平荷载作用下，内力如图 13-12 (*b*)所示。

3. 截面承载力验算

取纵墙顶部和底部两个控制截面进行内力组合，考虑荷载组合系数，取最不利内力进行验算。

（二）多层房屋承重纵墙

多层房屋通常选取荷载较大、截面较弱的一个开间作为计算单元，如图 13-13 所示，受荷宽度为$\frac{l_1+l_2}{2}$。



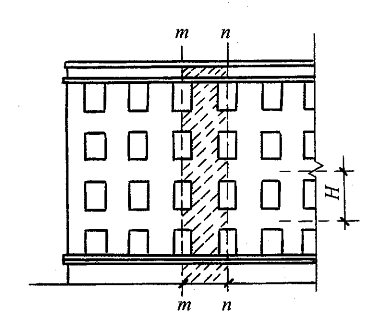


图 13-13

在竖向荷载作用下，多层房屋墙体在每层范围内，可近似地看作两端铰支的竖向构件；在水平荷载作用下，可视作竖向的多跨连续梁，如图 13-14 所示。

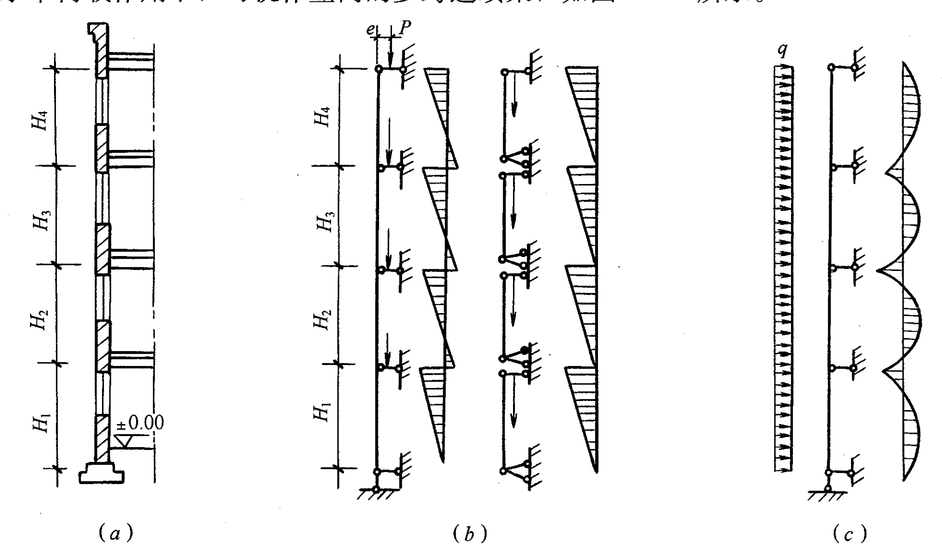


图 13-14　外纵墙计算图形

（a）外纵墙剖面；（b）竖向荷载作用下；（c）水平荷载作用下

刚性方案多层房屋因风荷载引起的内力很小，当刚性房屋外墙符合下列要求时，可不考虑风荷载的影响。

1. 洞口水平截面面积不超过全截面面积的 2/3；

2. 层高和总高不超过表 13-3 的规定；

外墙不考虑风荷载影响时的最大高度　　　　**表 13-3**

基本风压值（kN/m²）	层　高（m）	总　高（m）
0.4	4.0	28
0.5	4.0	24
0.6	4.0	18
0.7	3.5	18

注：对于多层混凝土砌块房屋，当外墙厚度不小于 190mm，层高不大于 2.8m，总高不大于 19.6m，基本风压不大于 0.7kN/m² 时，可不考虑风荷载的影响。

3. 屋面自重不小于 0.8kN/m²。

当必须考虑风荷载时，风荷载引起的弯矩 M，可按下式计算：

$$M=\frac{wH_i^2}{12} \tag{13-1}$$

式中　w——沿楼层高均布风荷载设计值（kN/m）；

H_i——层高（m）。

四、弹性方案单层房屋的静力计算

（一）计算简图

对于弹性方案单层房屋，在荷载作用下，墙柱内力可按有侧移的平面排架计算，不考虑房屋的空间工作，计算简图按下列假定确定：

1. 屋架或屋面梁与墙柱的连接，可视为可传递垂直力和水平力的铰，墙、柱下端与基础顶面为固定端连接。

2. 将屋架或屋面大梁视作刚度为无限大的水平杆件，在荷载作用下，不产生拉伸或压缩变形。

根据上述假定，计算简图为铰接平面排架。

（二）内力计算

1. 先在排架上端加一假想的不动铰支座，成为无侧移的平面排架，算出在荷载作用下该支座的反力 R，画出排架柱的内力图［图 13-16（b）、（d）］。

2. 将柱顶支座反力 R 反方向作用在排架顶端，算出排架内力，画出相应的内力图［图 13-16（c）、（e）］。

3. 将上述两种计算结果叠加，假想的柱顶支座反力 R 相互抵消，叠加后的内力图即为弹性方案有侧移平面排架的计算结果如图 13-16（f）。

4. 内力计算（图 13-15）

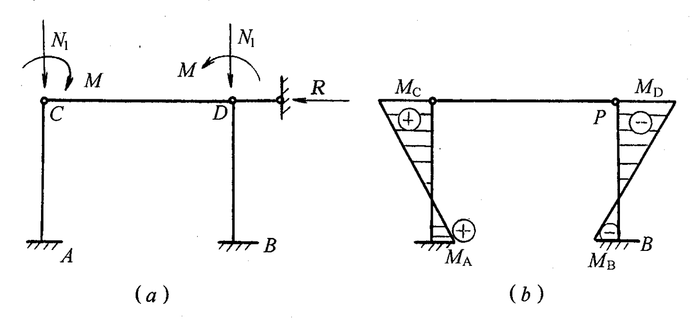


图 13-15　竖向荷载作用下

（1）屋盖荷载

屋盖荷载 N_1 作用点对砌体重心有偏心矩 e_1，所以柱顶作用有轴向力 N_1 和弯矩 $M=N_1 \cdot e_1$。由于荷载对称，柱顶无位移，假想柱顶支座反力 $R=0$。

（2）风荷载

屋盖结构传来的风荷载以集中力 $\overline{W}$ 作用于柱顶，迎风面风载为 W_1，背风面为 W_2，见图 13-16（a）。

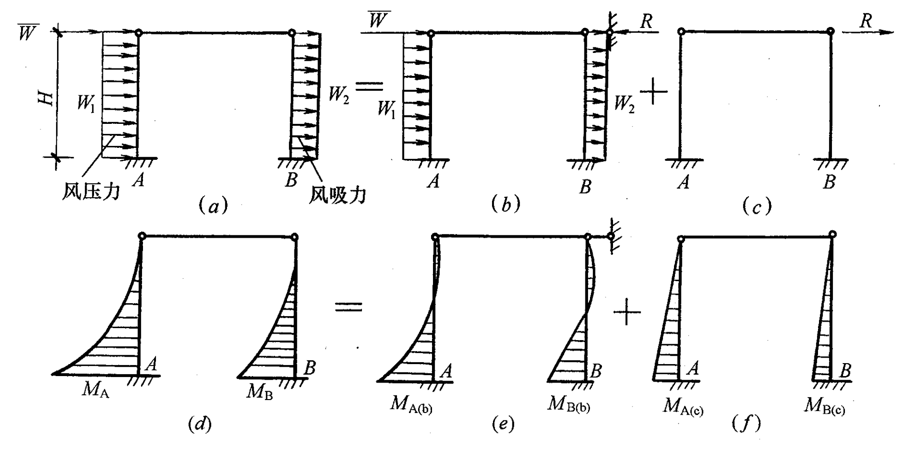


图 13-16　水平风荷载作用下

将图 13-16（b）与图 13-16（c）两种情况所得的弯矩图 13-16（e）与图 13-16（f）叠加，即可得排架弯矩图 13-16（d）。

五、刚弹性方案房屋的静力计算

在水平荷载作用下，刚弹性方案房屋产生水平位移较弹性方案小。在静力计算中，屋盖作为墙柱的弹性支承，计算方法类似于弹性方案，不同的仅是考虑房屋的空间作用，将作用在排架顶端的支座反力 R 改为 $\eta_i R$（图 13-17）。η_i 为空间性能影响系数。

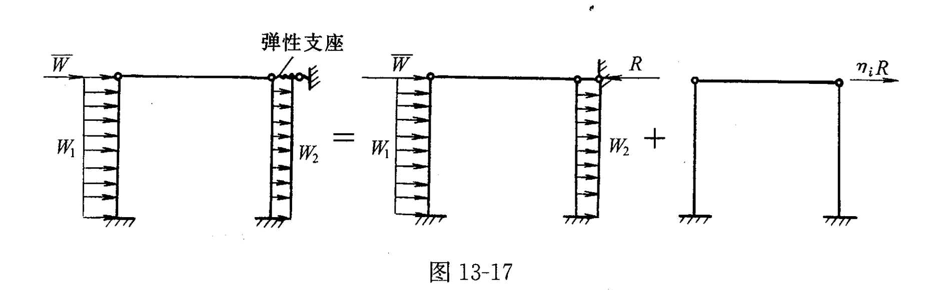


图 13-17

对多层刚弹性方案房屋，只需在各层横梁与柱连接点处加一水平支杆，求出各层水平支杆反力 R_i 后，再将 $\eta_i R$ 反向施加在相应的水平支杆上，计算其内力，最后将结果叠加。

六、上柔下刚和上刚下柔房屋的静力计算

（一）上柔下刚房屋的静力计算

上柔下刚的多层房屋指顶层横墙间距超过刚性方案的限值，而下面各层横墙间距均在刚性方案限值范围内的房屋。在确定计算简图时，顶层可按单层刚弹性或弹性方案进行静力计算。下面各层仍按刚性方案进行内力分析，上下层交接处可只考虑竖向荷载向下传递，不考虑固端弯矩。

（二）上刚下柔房屋的静力计算

上刚下柔房屋是指底层横墙间距超过刚性方案的限值，而上面各层横墙间距在刚性方案限值内的房屋。在水平荷载作用下，内力可按下述方法进行计算。

首先，在各层横梁与立柱连接处加一水平铰支杆，计算其在水平荷载作用下（结点处无侧移）的内力和各支杆反力 R_i [图 13-18（b）]，然后将上面各层楼层叠合成刚度无限大的横梁，成为单层排架，如图 13-18（c）。

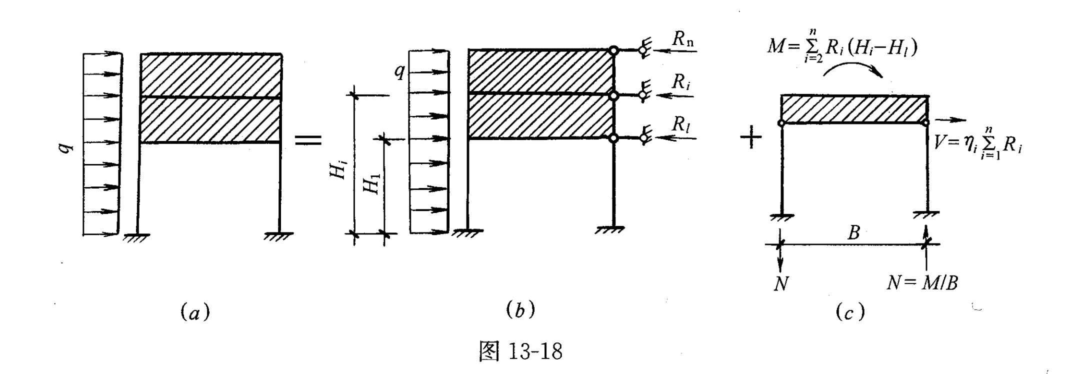


图 13-18

其次，将各层水平支杆反力 R_i 反向后对单层排架顶部取矩，则

$$\left.\begin{aligned}&\text{总弯矩} \quad M=\sum_{i=2}^{n}R_i(H_i-H_1)\\&\text{总水平力} \quad V=\eta_i\sum_{i=1}^{n}R_i\\&\text{竖向力} \quad N=M/B\end{aligned}\right\} \tag{13-2}$$

式中 B——底层排架的宽度；

η_i——按第一类房屋确定的空间性能影响系数；

R_i——假定水平铰支杆反力（$i=1，2，\cdots，n$）；

$\sum_{i=1}^{n}R_i$——底层 1m 高度以上水平荷载之和。

最后，将上述计算结果叠加，即得所求的内力。

第三节　无筋砌体构件承载力计算

一、受压构件

（一）在工程中无筋砌体受压构件是最常遇到的，如砌体结构房屋的窗间墙和砖柱，它们承受上部传来的竖向荷载和自身重量。《砌体结构设计规范》GB 50003—2011（以下简称《砌体规范》）对不同高厚比 $\beta=\frac{H_0}{h}$ 和不同偏心率 $\frac{e}{h}\left(\text{或}\frac{e}{h_T}\right)$ 的受压构件承载力采用下式计算：

$$N\leqslant\varphi fA \tag{13-3}$$

式中 N——轴向力设计值；

φ——高厚比 β 和轴向力的偏心距 e 对受压构件承载力的影响系数，可按《砌体规范》附录 D 的规定采用；

f——砌体的抗压强度设计值，应按《砌体规范》第 3.2.1 条采用。对无筋砌体，当截面面积小于 $0.3m^2$ 时，应乘以调整系数 γ_a，γ_a 为其截面面积加 0.7（构件截面面积以“m^2”计）；

A——截面面积，对各类砌体均应按毛截面计算；对带壁柱墙，其翼缘宽度可按《砌体规范》第 4.2.8 条采用。

注：对矩形截面构件，当轴向力偏心方向的截面边长大于另一方向的边长时，除按偏心受压计算外，还应对较小边长方向，按轴心受压进行验算。

（二）计算影响系数 φ 或查 φ 表时，构件高厚比 β 应按下列公式确定：

对矩形截面
$$\beta=\gamma_\beta\frac{H_0}{h} \tag{13-4}$$

对 T 形截面
$$\beta=\gamma_\beta\frac{H_0}{h_T} \tag{13-5}$$

式中 γ_β——不同砌体材料的高厚比修正系数，按表 13-4 采用；

H_0——受压构件的计算高度，按表 13-5 确定；

h——矩形截面轴向力偏心方向的边长，当轴心受压时为截面较小边长；

h_T——T 形截面的折算厚度，可近似按 3.5i 计算，i 为截面回转半径。

高厚比修正系数 γ_β **表 13-4**

砌体材料类别	γ_β
烧结普通砖、烧结多孔砖	1.0
混凝土普通砖、混凝土多孔砖、混凝土及轻集料混凝土砌块	1.1
蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖、细料石	1.2
粗料石、毛石	1.5

注：对灌孔混凝土砌块砌体，γ_β 取 1.0。

（三）受压构件的计算高度 H_0，应根据房屋类别和构件支承条件等按表 13-5 采用。表中的构件高度 H 应按下列规定采用：

1. 在房屋底层，为楼板顶面到构件下端支点的距离。下端支点的位置，可取在基础顶面；当埋置较深且有刚性地坪时，可取室外地面下 500mm 处；

2. 在房屋其他层次，为楼板或其他水平支点间的距离；

3. 对于无壁柱的山墙，可取层高加山墙尖高度的 1/2；对于带壁柱的山墙可取壁柱处的山墙高度。

（四）对有吊车的房屋，当荷载组合不考虑吊车作用时，变截面柱上段的计算高度可按表 13-5 规定采用。

受压构件的计算高度 H_0 **表 13-5**

房屋类别			柱		带壁柱墙或周边拉接的墙		
			排架方向	垂直排架方向	$s>2H$	$2H\geqslant s>H$	$s\leqslant H$
有吊车的单层房屋	变截面柱上段	弹性方案	$2.5H_u$	$1.25H_u$	$2.5H_u$		
		刚性、刚弹性方案	$2.0H_u$	$1.25H_u$	$2.0H_u$		
	变截面柱下段		$1.0H_l$	$0.8H_l$	$1.0H_l$		
无吊车的单层和多层房屋	单跨	弹性方案	$1.5H$	$1.0H$	$1.5H$		
		刚弹性方案	$1.2H$	$1.0H$	$1.2H$		
	多跨	弹性方案	$1.25H$	$1.0H$	$1.25H$		
		刚弹性方案	$1.10H$	$1.0H$	$1.1H$		
	刚性方案		$1.0H$	$1.0H$	$1.0H$	$0.4s+0.2H$	$0.6s$

注：1. 表中 H_u 为变截面柱的上段高度；H_l 为变截面柱的下段高度；

2. 对于上端为自由端的构件，$H_0=2H$；

3. 独立砖柱，当无柱间支撑时，柱在垂直排架方向的 H_0 应按表中数值乘以 1.25 后采用；

4. s 为房屋横墙间距；

5. 自承重墙的计算高度应根据周边支承或拉接条件确定。

变截面柱下段的计算高度可按下列规定采用：

1. 当 $H_u/H\leqslant1/3$ 时，取无吊车房屋的 H_0；

2. 当 $1/3<H_u/H<1/2$ 时，取无吊车房屋的 H_0 乘以修正系数 μ。

$$\mu = 1.3 - 0.3I_u/I_l \tag{13-6}$$

式中　I_u——变截面柱上段的惯性矩；

I_l——变截面柱下段的惯性矩。

3. 当 $H_u/H \geqslant 1/2$ 时，取无吊车房屋的 H_0。但在确定 β 值时，应采用上柱截面。

注：本条规定也适用于无吊车房屋的变截面柱。

（五）按内力设计值计算的轴向力的偏心距 e 不应超过 $0.6y$。y 为截面重心到轴向力所在偏心方向截面边缘的距离。

二、局部受压

砌体的局部受压按受力特点的不同可以分为局部均匀受压和梁端局部受压两种。

（一）砌体截面局部均匀受压

当荷载均匀地作用在砌体局部受压面积上时，就属于这种情况，其承载能力按下列公式计算：

$$N_l \leqslant \gamma f A_l \tag{13-7}$$

$$\gamma = 1 + 0.35\sqrt{\frac{A_0}{A_l} - 1} \tag{13-8}$$

式中　N_l——局部受压面积上的轴向力设计值；

γ——砌体局部抗压强度提高系数，由于局部受压砌体有套箍作用存在，其抗压强度的提高通过 γ 来考虑，$\gamma>1.0$。

计算所得的 γ 值，尚应符合下列规定：

① 在图 13-19（a）的情况下，$\gamma \leqslant 2.5$；

② 在图 13-19（b）的情况下，$\gamma \leqslant 2.0$；

③ 在图 13-19（c）的情况下，$\gamma \leqslant 1.5$；

④ 在图 13-19（d）的情况下，$\gamma \leqslant 1.25$；

⑤对多孔砖砌体和按《砌体规范》第 6.2.13 条的要求灌孔的砌块砌体，在 1)、2)、3）款的情况下，尚应符合 $\gamma \leqslant 1.5$。未灌孔混凝土砌块砌体，$\gamma=1.0$。

A_l——局部受压面积；

A_0——影响砌体局部抗压强度的计算面积，按图 13-19 计算。即按下列规定采用：

① 在图 13-19(a)的情况下，$A_0=(a+c+h)h$

② 在图 13-19(b)的情况下，$A_0=(b+2h)h$

③ 在图 13-19(c)的情况下，$A_0=(a+h)h+(b+h_1-h)h_1$

④ 在图 11-19(d)的情况下，$A_0=(a+h)h$

式中　a、b——矩形局部受压面积 A_l 的边长；

h、h_1——墙厚或柱的较小边长，墙厚；

c——矩形局部受压面积的外边缘至构件边缘的较小距离，当大于 h 时，应取 h。

（二）梁端局部受压

当梁支承在砌体上时，由于梁的弯曲，使梁端有脱开砌体的趋势，所以梁端受压属于非均匀局部受压，见图 13-20。梁端支承处砌体的局部受压承载力按下式计算：

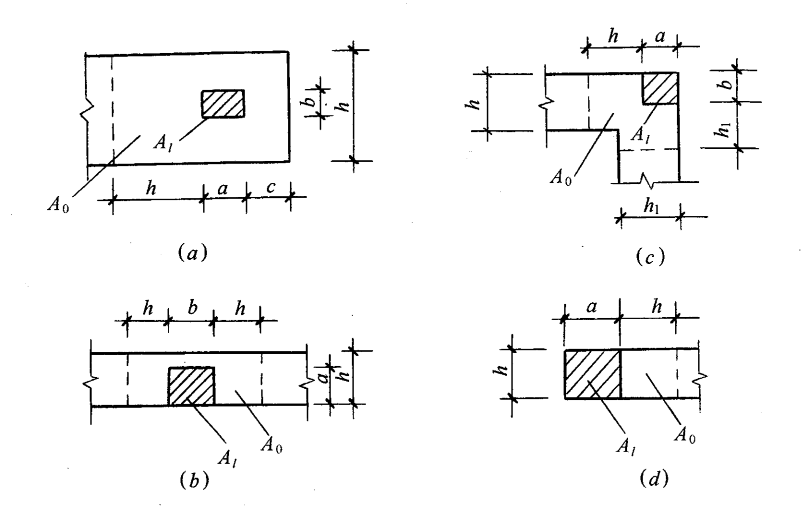


图 13-19　影响局部抗压强度的面积 A_0

$$\psi N_0 + N_l \leqslant \eta \gamma f A_l \tag{13-9}$$

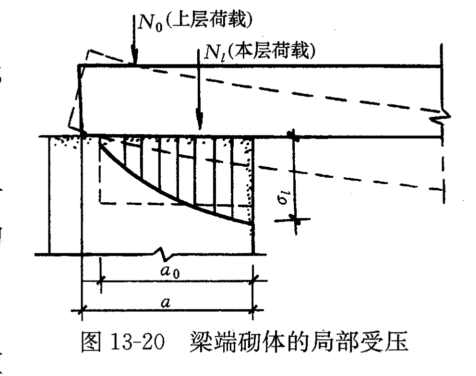


图 13-20　梁端砌体的局部受压

式中　ψ——上部荷载的折减系数，$\psi = 1.5 - 0.5 \times \frac{A_0}{A_l}$，当 $A_0/A_l \geqslant 3$ 时，取 $\psi = 0$；

N_0——局部受压面积内上部传来轴向力设计值（N），$N_0 = \sigma_0 / A_l$，σ_0 为上部平均压应力设计值（N/mm^2）；

N_l——梁端支承压力设计值（N）；

η——梁端底面压应力图形的完整系数，应取 0.7，对于过梁和墙梁可取 1.0；

γ——按公式（13-8）计算；

A_l——局部受压面积，$A_l = a_0 b$，b 为梁的截面宽度，a_0 为梁端有效支承长度。

a_0 可按公式（13-10）计算。

$$a_0 = 10\sqrt{\frac{h_c}{f}} \tag{13-10}$$

式中　a_0——梁端有效支承长度，当 $a_0 > a$ 时，应取 $a_0 = a$；

a——梁端实际支承长度（mm）；

h_c——梁的截面高度（mm）；

f——砌体的抗压强度设计值（MPa）。

当梁端局部受压承载力不满足要求时，可以通过在梁端加钢筋混凝土垫块（预制刚性垫块、与梁端现浇成整体的垫块），或将梁端放在钢筋混凝土垫梁（如圈梁）上来解决，具体计算方法可参见《砌体规范》有关条款。

三、轴心受拉构件

轴心受拉构件的承载力，应按下式计算：

$$N_t \leqslant f_t A \tag{13-11}$$

式中 N_t——轴心拉力设计值；

f_t——砌体轴心抗拉强度设计值，应按表 13-1 采用。

四、受弯构件

（一）受弯构件的抗弯承载力，应按下式计算：

$$M \leqslant f_{tm} W \tag{13-12}$$

式中 M——弯矩设计值；

f_{tm}——砌体的弯曲抗拉强度设计值，按表 13-1 采用；

W——截面抵抗矩。

（二）受弯构件的受剪承载力，应按下式计算：

$$V \leqslant f_v bz \tag{13-13}$$

式中 V——剪力设计值；

f_v——砌体的抗剪强度设计值，应按表 13-1 采用；

b——截面宽度；

z——内力臂，$z=\frac{I}{S}$，当截面为矩形时，$z=\frac{2}{3}h$；

I、S、h——分别为截面的惯性矩、截面面积矩和截面高度。

五、受剪构件

沿通缝或沿阶梯形截面破坏时受剪构件的承载力，应按下式计算：

$$V \leqslant (f_v + a\mu\sigma_0)A \tag{13-14}$$

式中符号及有关计算见《砌体规范》第 5.5.1 条。

第四节 构 造 要 求

一、墙、柱的允许高厚比

（一）墙、柱的高厚比应按下式验算：

$$\beta=\frac{H_0}{h} \leqslant \mu_1 \mu_2 [\beta] \tag{13-15}$$

式中 H_0——墙、柱的计算高度，应按《砌体规范》第 5.1.3 条采用；

h——墙厚或矩形柱与 H_0 相对应的边长；

μ_1——自承重墙允许高厚比的修正系数；

μ_2——有门窗洞口墙允许高厚比的修正系数；

$[\beta]$——墙、柱的允许高厚比，应按表 13-6 采用。

注：① 墙、柱的计算高度应按表 13-5 的规定采用；

② 当与墙连接的相邻两墙间的距离 $s \leqslant \mu_1 \mu_2 [\beta] h$ 时，墙的高度可不受式（13-15）的限制；

③ 变截面柱的高厚比可按上、下截面分别验算、其计算高度可按表 13-5 的规定采用。验算上柱的高厚比时，墙、柱的允许高厚比可按表 13-6 的数值乘以 1.3 后采用。

墙、柱的允许高厚比 [β] 值　　表 13-6

砌体类型	砂浆强度等级	墙	柱
无筋砌体	M2.5	22	15
	M5.0 或 Mb5.0、Ms5.0	24	16
	≥M7.5 或 Mb7.5、Ms7.5	26	17
配筋砌块砌体	—	30	21

注：1. 毛石墙、柱的允许高厚比应按表中数值降低 20%；

2. 带有混凝土或砂浆面层的组合砖砌体构件的允许高厚比，可按表中数值提高 20%，但不得大于 28；

3. 验算施工阶段砂浆尚未硬化的新砌砌体构件高厚比时，允许高厚比对墙取 14，对柱取 11。

（二）带壁柱墙和带构造柱墙的高厚比验算，应按下列规定进行：

1. 按公式（13-15）验算带壁柱墙的高厚比，此时公式中 h 应改用带壁柱墙截面的折算厚度 h_T，在确定截面回转半径时，墙截面的翼缘宽度，可按《砌体规范》第 4.2.8 条的规定采用；当确定带壁柱墙的计算高度 H_0 时，s 应取相邻墙之间的距离。

2. 当构造柱截面宽度不小于墙厚时，可按公式（13-15）验算带构造柱墙的高厚比，此时公式中 h 取墙厚；当确定墙的计算高度 H_0 时，s 应取相邻横墙间的距离；墙的允许高厚比 [β] 可乘以修正系数 μ_c，μ_c 可按下式计算：

$$\mu_c = 1 + \gamma \frac{b_c}{l} \tag{13-16}$$

式中　γ——系数。对细料石砌体，$\gamma=0$；对混凝土砌块、混凝土多孔砖、粗料石、毛料石及毛石砌体，$\gamma=1.0$；其他砌体，$\gamma=1.5$；

b_c——构造柱沿墙长方向的宽度；

l——构造柱的间距。

当 $b_c/l>0.25$ 时取 $b_c/l=0.25$，当 $b_c/l<0.05$，时取 $b_c/l=0$。

注：考虑构造柱有利作用的高厚比验算不适用于施工阶段。

3. 按公式（13-15）验算壁柱间墙或构造柱间墙的高厚比时，s 应取相邻壁柱间或相邻构造柱间的距离。设有钢筋混凝土圈梁的带壁柱墙或带构造柱墙，当 $b/s\geq 1/30$ 时，圈梁可视作壁柱间墙或构造柱间墙的不动铰支点（b 为圈梁宽度）。当不满足上述条件且不允许增加圈梁宽度时，可按墙体平面外等刚度原则增加圈梁高度，此时，圈梁仍可视作壁柱间墙或构造柱间墙的不动铰支点。

（三）厚度 h 不大于 240mm 的自承重墙（非承重墙），允许高厚比修正系数 μ_1，应按下列规定采用：

1. $h=240$mm，$\mu_1=1.2$；

2. $h=90$mm，$\mu_1=1.5$；

3. 240mm$>h>$90mm，μ_1 可按插入法取值。

注：①上端为自由端墙的允许高厚比，除按上述规定提高外，尚可提高 30%；

②对厚度小于 90mm 的墙，当双面用不低于 M10 的水泥砂浆抹面，包括抹面层的墙厚不小于 90mm 时，可按墙厚等于 90mm 验算高厚比。

（四）对有门窗洞口的墙，允许高厚比修正系数 μ_2，应按下式计算：

$$\mu_2 = 1 - 0.4 \frac{b_s}{s} \tag{13-17}$$

式中　b_s——在宽度 s 范围内的门窗洞口总宽度；

s——相邻横墙或壁柱之间的距离。

b_s、s 影响 μ_2，要提高 μ_2，就要减小 b_s/s，即减小洞口宽度。

当按公式（13-17）算得 μ_2 的值小于 0.7 时，μ_2 应采用 0.7。当洞口高度等于或小于墙高的 1/5 时，μ_2 等于 1.0。

当洞口高度等于或小于墙高的 4/5 时，可按独立墙段验算高厚比。

二、一般构造要求

（一）五层及五层以上房屋的墙，以及受振动或层高大于 6m 的墙、柱所用材料的最低强度等级，应符合下列要求：

1. 砖采用 MU10；
2. 砌块采用 MU7.5；
3. 石材采用 MU30；
4. 砂浆采用 M5。

注：对安全等级为一级或设计使用年限大于 50 年的房屋，墙、柱所用材料的最低强度等级应至少提高一级。

（二）地面以下或防潮层以下的砌体、潮湿房间的墙，所用材料的最低强度等级应符合表 13-7 的要求。

地面以下或防潮层以下的砌体、潮湿房间的墙所用材料的最低强度等级　　表 13-7

潮湿程度	烧结普通砖	混凝土普通砖、蒸压普通砖	混凝土砌块	石　材	水泥砂浆
稍潮湿的	MU15	MU20	MU7.5	MU30	M5
很潮湿的	MU20	MU20	MU10	MU30	M7.5
含水饱和的	MU20	MU25	MU15	MU40	M10

注：1. 在冻胀地区，地面以下或防潮层以下的砌体，不宜采用多孔砖，如采用时，其孔洞应用不低于 M10 的水泥砂浆灌实。当采用混凝土空心砌块时，其孔洞应采用强度等级不低于 Cb20 的混凝土预先灌实；
2. 对安全等级为一级或设计使用年限大于 50 年的房屋，表中材料强度等级应至少提高一级。

（三）承重的独立砖柱截面尺寸不应小于 240mm×370mm。毛石墙的厚度不宜小于 350mm，毛料石柱较小边长不宜小于 400mm。

注：当有振动荷载时，墙、柱不宜采用毛石砌体。

（四）跨度大于 6m 的屋架和跨度大于下列数值的梁，应在支承处砌体上设置混凝土或钢筋混凝土垫块；当墙中设有圈梁时，垫块与圈梁宜浇成整体（加垫块主要是为了扩散压力）。

1. 对砖砌体为 4.8m；
2. 对砌块和料石砌体为 4.2m；
3. 对毛石砌体为 3.9m。

（五）当梁跨度大于或等于下列数值时，其支承处宜加设壁柱（加设壁柱是为了加强稳定），或采取其他加强措施：

1. 对 240mm 厚的砖墙为 6m，对 180mm 厚的砖墙为 4.8m；
2. 对砌块、料石墙为 4.8m。

（六）预制钢筋混凝土板的支承长度，在墙上不宜小于 100mm；在钢筋混凝土圈梁上不宜小于 80mm；当利用板端伸出钢筋拉结和混凝土灌缝时，其支承长度可为 40mm，但板端缝宽不小于 80mm，灌缝混凝土不宜低于 C20。

（七）当梁的跨度大于或等于下列数值时，其支承处宜加设壁柱，或采取其他加强措施：

1. 对 240mm 厚的砖墙为 6m；对 180mm 厚的砖墙为 4.8m；

2. 对砌块、料石墙为 4.8m。

（八）填充墙、隔墙应分别采取措施与周边主体结构构件可靠连接。

（九）山墙处的壁柱或构造柱宜砌至山墙顶部，且屋面构件应与山墙可靠拉结。

（十）砌块砌体应分皮错缝搭砌，上下皮搭砌长度不得小于 90mm。当搭砌长度不满足上述要求时，应在水平灰缝内设置不小于 2ϕ4 的焊接钢筋网片（横向钢筋的间距不宜大于 200mm，网片每端应伸出该垂直缝不小于 300mm）。

（十一）砌块墙与后砌隔墙交接处，应沿墙高每 400mm 在水平灰缝内设置不少于 2ϕ4、横筋间距不大于 200mm 的焊接钢筋网片，（图 13-21）。

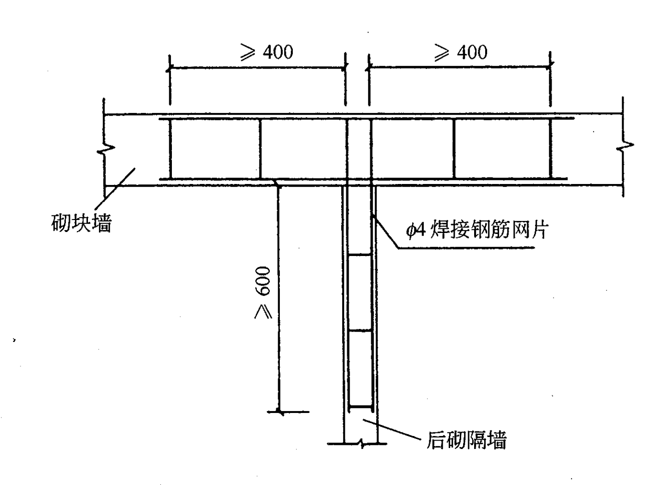


图 13-21　砌块墙与后砌隔墙交接处钢筋网片

（十二）混凝土砌块房屋，宜将纵横墙交接处、距墙中心线每边不小于 300mm 范围内的孔洞，采用不低于 Cb20 混凝土沿全墙高灌实。

（十三）混凝土砌块墙体的下列部位，如未设圈梁或混凝土垫块，应采用不低于 Cb20 混凝土将孔洞灌实：

1. 搁栅、檩条和钢筋混凝土楼板的支承面下，高度不应小于 200mm 的砌体；

2. 屋架、梁等构件的支承面下，长度不应小于 600mm，高度不应小于 600mm 的砌体；

3. 挑梁支承面下，距墙中心线每边不应小于 300mm，高度不应小于 600mm 的砌体。

（十四）在砌体中留槽洞及埋设管道时，应遵守下列规定：

1. 不应在截面长边小于 500mm 的承重墙体、独立柱内埋设管线；

2. 不宜在墙体中穿行暗线或预留、开凿沟槽，当无法避免时应采取必要的措施或按削弱后的截面验算墙体的承载力。

注：对受力较小或未灌孔的砌块砌体，允许在墙体的竖向孔洞中设置管线。

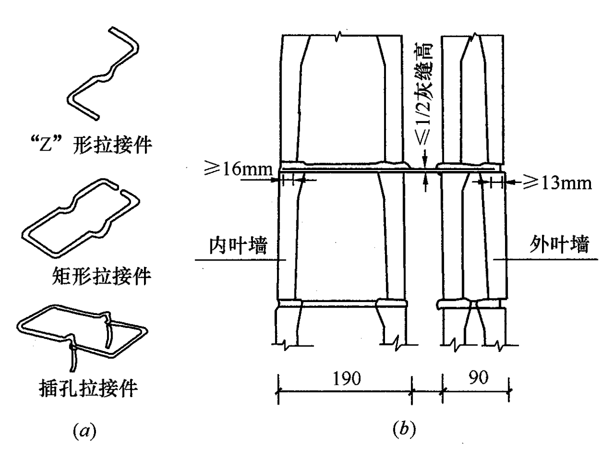


图 13-22　夹心墙的拉结
（a）拉接件；（b）拉结构造

（十五）夹心墙应符合下列规定：

夹心墙的拉结见图 13-22。

1. 外叶墙的砖及混凝土砌块的

强度等级不应低于 MU10；

2. 夹心墙的夹层厚度不宜大于 120mm；

3. 夹心墙外叶墙的最大横向支承间距宜按下列规定采用：

1）设防烈度为 6 度时不宜大于 9m；

2）设防烈度为 7 度时不宜大于 6m；

3）设防烈度为 8、9 度时不宜大于 3m。

（十六）夹心墙的内、外叶墙，应由拉结件可靠拉结，拉结件宜符合下列规定：

1. 当采用环形拉结件时，钢筋直径不应小于 4mm，当为 Z 形拉结件时，钢筋直径不应小于 6mm。拉结件应沿竖向梅花形布置，拉结件的水平和竖向最大间距分别不宜大于 800mm 和 600mm；对有振动或有抗震设防要求时，其水平和竖向最大间距分别不宜大于 800mm 和 400mm。

2. 当采用可调拉结件时，钢筋直径不应小于 4mm，拉结件的水平和竖向最大间距均不宜大于 400mm。叶墙间灰缝的高差不大于 3mm，可调拉结件中孔眼和扣钉间的公差不大于 1.5mm。

3. 当采用钢筋网片作拉结件时，网片横向钢筋的直径不应小于 4mm，其间距不应大于 400mm；网片的竖向间距不宜大于 600mm，对有振动或有抗震设防要求时，不宜大于 400mm。

4. 拉结件在叶墙上的搁置长度，不应小于叶墙厚度的 2/3，并不应小于 60mm。

5. 门窗洞口周边 300mm 范围内应附加间距不大于 600mm 的拉结件。

三、防止或减轻墙体开裂的主要措施

（一）为了防止或减轻房屋在正常使用条件下，由温差和砌体干缩引起的墙体竖向裂缝，应在墙体中设置伸缩缝。伸缩缝应设在因温度和收缩变形引起应力集中、砌体产生裂缝可能性最大的地方。伸缩缝的间距可按表 13-8 采用。

砌体房屋伸缩缝的最大间距（m）　　表 13-8

屋盖或楼盖类别		间距
整体式或装配整体式钢筋混凝土结构	有保温层或隔热层的屋盖、楼盖	50
	无保温层或隔热层的屋盖	40
装配式无檩体系钢筋混凝土结构	有保温层或隔热层的屋盖、楼盖	60
	无保温层或隔热层的屋盖	50
装配式有檩体系钢筋混凝土结构	有保温层或隔热层的屋盖	75
	无保温层或隔热层的屋盖	60
瓦材屋盖、木屋盖或楼盖、轻钢屋盖		100

注：1. 对烧结普通砖、烧结多孔砖、配筋砌块砌体房屋，取表中数值；对石砌体、蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖、混凝土砌块、混凝土普通砖和混凝土多孔砖房屋，取表中数值乘以 0.8 的系数，当墙体有可靠外保温措施时，其间距可取表中数值；
2. 在钢筋混凝土屋面上挂瓦的屋盖应按钢筋混凝土屋盖采用；
3. 层高大于 5m 的烧结普通砖、烧结多孔砖、配筋砌块砌体结构单层房屋，其伸缩缝间距可按表中数值乘以 1.3；
4. 温差较大且变化频繁地区和严寒地区不采暖的房屋及构筑物墙体的伸缩缝的最大间距，应按表中数值予以适当减小；
5. 墙体的伸缩缝应与结构的其他变形缝相重合，缝宽度应满足各种变形缝的变形要求；在进行立面处理时，必须保证缝隙的变形作用。

（二）为了防止或减轻房屋顶层墙体的裂缝，可根据情况采取下列措施：

1. 屋面应设置保温、隔热层；

2. 屋面保温（隔热）层或屋面刚性面层及砂浆找平层应设置分隔缝，分隔缝间距不宜大于6m，其缝宽不小于30mm，并与女儿墙隔开；

3. 采用装配式有檩体系钢筋混凝土屋盖和瓦材屋盖；

4. 顶层屋面板下设置现浇钢筋混凝土圈梁，并沿内外墙拉通，房屋两端圈梁下的墙体内宜设置水平钢筋；

5. 顶层墙体有门窗等洞口时，在过梁上的水平灰缝内设置2～3道焊接钢筋网片或2ϕ6钢筋，焊接钢筋网片或钢筋应伸入洞口两端墙内不小于600mm；

6. 顶层及女儿墙砂浆强度等级不低于M7.5（Mb7.5、Ms7.5）；

7. 女儿墙应设置构造柱，构造柱间距不宜大于4m，构造柱应伸至女儿墙顶并与现浇钢筋混凝土压顶整浇在一起；

8. 对顶层墙体施加竖向预应力。

（三）为防止或减轻房屋底层墙体裂缝，可根据情况采取下列措施：

1. 增大基础圈梁的刚度；

2. 在底层的窗台下墙体灰缝内设置3道焊接钢筋网片或2ϕ6钢筋，并应伸入两边窗间墙内不小于600mm。

（四）在每层门、窗过梁上方的水平灰缝内及窗台下第一和第二道水平灰缝内，宜设置焊接钢筋网片或2根直径6mm钢筋，焊接钢筋网片或钢筋应伸入两边窗间墙内不小于600mm。当墙长大于5m时，宜在每层墙高度中部设置2～3道焊接钢筋网片或3根直径6mm的通长水平钢筋，竖向间距为500mm。

（五）房屋两端和底层第一、第二开间门窗洞处，可采取下列措施：

1. 在门窗洞口两边墙体的水平灰缝中，设置长度不小于900mm、竖向间距为400mm的2根直径4mm的焊接钢筋网片。

2. 在顶层和底层设置通长钢筋混凝土窗台梁，窗台梁高宜为块材高度的模数，梁内纵筋不少于4根，直径不小于10mm，箍筋直径不小于6mm，间距不大于200mm，混凝土强度等级不低于C20。

3. 在混凝土砌块房屋门窗洞口两侧不少于一个孔洞中设置直径不小于12mm的竖向钢筋，竖向钢筋应在楼层圈梁或基础内锚固，孔洞用不低于Cb20混凝土灌实。

（六）填充墙砌体与梁、柱或混凝土墙体结合的界面处（包括内、外墙），宜在粉刷前设置钢丝网片，网片宽度可取400mm，并沿界面缝两侧各延伸200mm，或采取其他有效的防裂、盖缝措施。

（七）当房屋刚度较大时，可在窗台下或窗台角处墙体内、在墙体高度或厚度突然变化处设置竖向控制缝。竖向控制缝宽度不宜小于25mm，缝内填以压缩性能好的填充材料，且外部用密封材料密封，并采用不吸水的、闭孔发泡聚乙烯实心圆棒（背衬）作为密封膏的隔离物（图13-23）。

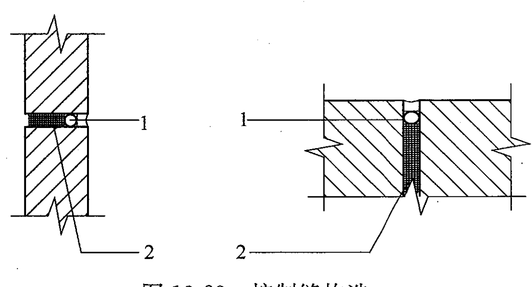


图13-23 控制缝构造
1—不吸水的、闭孔发泡聚乙烯实心圆棒；
2—柔软、可压缩的填充物

（八）夹心复合墙的外叶墙宜在建筑墙体适当部位设置控制缝，其间距宜为6～8m。

第五节　圈梁、过梁、墙梁和挑梁

一、圈梁

（一）对于有地基不均匀沉降或较大振动荷载的房屋，可按本节规定在砌体墙中设置现浇混凝土圈梁。

（二）厂房、仓库、食堂等空旷单层房屋应按下列规定设置圈梁：

1. 砖砌体结构房屋，檐口标高为 5～8m 时，应在檐口标高处设置圈梁一道；檐口标高大于 8m 时，应增加设置数量；

2. 砌块及料石砌体结构房屋，檐口标高为 4～5m 时，应在檐口标高处设置圈梁一道；檐口标高大于 5m 时，应增加设置数量；

3. 对有吊车或较大振动设备的单层工业房屋，当未采取有效的隔振措施时，除在檐口或窗顶标高处设置现浇混凝土圈梁外，尚应增加设置数量。

（三）住宅、办公楼等多层砌体结构民用房屋，且层数为 3 层～4 层时，应在底层和檐口标高处各设置一道圈梁。当层数超过 4 层时，除应在底层和檐口标高处各设置一道圈梁外，至少应在所有纵、横墙上隔层设置。多层砌体工业房屋，应每层设置现浇混凝土圈梁。设置墙梁的多层砌体结构房屋，应在托梁、墙梁顶面和檐口标高处设置现浇钢筋混凝土圈梁。

（四）建筑在软弱地基或不均匀地基上的砌体结构房屋，除按本节规定设置圈梁外，尚应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

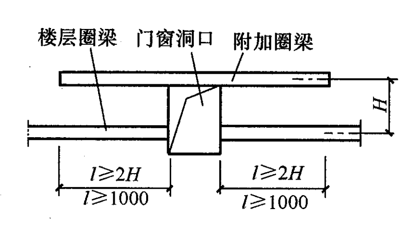


图 13-24

（五）圈梁应符合下列构造要求：

1. 圈梁宜连续地设在同一水平面上，并形成封闭状；当圈梁被门窗洞口截断时，应在洞口上部增设相同截面的附加圈梁。附加圈梁与圈梁的搭接长度不应小于其中到中垂直间距的 2 倍，且不得小于 1m（见图 13-24）。

2. 纵、横墙交接处的圈梁应可靠连接。刚弹性和弹性方案房屋，圈梁应与屋架、大梁等构件可靠连接。

3. 混凝土圈梁的宽度宜与墙厚相同，当墙厚不小于 240mm 时，其宽度不宜小于墙厚的 2/3。圈梁高度不应小于 120mm。纵向钢筋数量不应少于 4 根，直径不应小于 10mm，绑扎接头的搭接长度按受拉钢筋考虑，箍筋间距不应大于 300mm。

4. 圈梁兼作过梁时，过梁部分的钢筋应按计算面积另行增配。

（六）采用现浇混凝土楼（屋）盖的多层砌体结构房屋，当层数超过 5 层时，除应在檐口标高处设置一道圈梁外，可隔层设置圈梁，并应与楼（屋）面板一起现浇。未设置圈梁的楼面板嵌入墙内的长度不应小于 120mm，并沿墙长配置不少于 2 根直径为 10mm 的纵向钢筋。

二、过梁

（一）对有较大振动荷载或可能产生不均匀沉降的房屋，应采用混凝土过梁。当过梁的跨度不大于 1.5m 时，可采用钢筋砖过梁；不大于 1.2m 时，可采用砖砌平拱过梁。

（二）过梁的荷载，应按下列规定采用：

1. 对砖和砌块砌体，当梁、板下的墙体高度 h_w 小于过梁的净跨 l_n 时，过梁应计入梁、板传来的荷载，否则可不考虑梁、板荷载；

2. 对砖砌体，当过梁上的墙体高度 h_w 小于 $l_n/3$ 时，墙体荷载应按墙体的均布自重采用，否则应按高度为 $l_n/3$ 墙体的均布自重来采用；

3. 对砌块砌体，当过梁上的墙体高度 h_w 小于 $l_n/2$ 时，墙体荷载应按墙体的均布自重采用，否则应按高度为 $l_n/2$ 墙体的均布自重采用。

（三）过梁的计算，宜符合下列规定：

1. 砖砌平拱受弯和受剪承载力，可按式（13-12）和式（13-13）计算；

2. 钢筋砖过梁的受弯承载力可按下式计算，受剪承载力，可按式（13-13）计算；

$$M \leqslant 0.85 h_0 f_y A_s \tag{13-18}$$

式中 M——按简支梁计算的跨中弯矩设计值；

h_0——过梁截面的有效高度，$h_0 = h - a_s$；

a_s——受拉钢筋重心至截面下边缘的距离；

h——过梁的截面计算高度，取过梁底面以上的墙体高度，但不大于 $l_n/3$；当考虑梁、板传来的荷载时，则按梁、板下的高度采用；

f_y——钢筋的抗拉强度设计值；

A_s——受拉钢筋的截面面积。

3. 混凝土过梁的承载力，应按混凝土受弯构件计算。验算过梁下砌体局部受压承载力时，可不考虑上层荷载的影响；梁端底面压应力图形完整系数可取 1.0，梁端有效支承长度可取实际支承长度，但不应大于墙厚。

（四）砖砌过梁的构造，应符合下列规定：

1. 砖砌过梁截面计算高度内的砂浆不宜低于 M5（Mb5、Ms5）；

2. 砖砌平拱用竖砖砌筑部分的高度不应小于 240mm；

3. 钢筋砖过梁底面砂浆层处的钢筋，其直径不应小于 5mm，间距不宜大于 120mm，钢筋伸入支座砌体内的长度不宜小于 240mm，砂浆层的厚度不宜小于 30mm。

三、墙梁

（一）承重与自承重简支墙梁、连续墙梁和框支墙梁的设计，应符合本节规定。

（二）采用烧结普通砖砌体、混凝土普通砖砌体、混凝土多孔砖砌体和混凝土砌块砌体的墙梁设计应符合下列规定：

1. 墙梁设计应符合表 13-9 的规定：

墙梁的一般规定 **表 13-9**

墙梁类别	墙体总高度（m）	跨度（m）	墙体高跨比 h_w/l_{0i}	托梁高跨比 h_b/l_{0i}	洞宽比 b_h/l_{0i}	洞高 h_h
承重墙梁	≤18	≤9	≥0.4	≥1/10	≤0.3	$\leqslant 5h_w/6$ 且 $h_w - h_h \geqslant 0.4$m
自承重墙梁	≤18	≤12	≥1/3	≥1/15	≤0.8	—

注：墙体总高度指托梁顶面到檐口的高度，带阁楼的坡屋面应算到山尖墙 1/2 高度处。

2. 墙梁计算高度范围内每跨允许设置一个洞口，洞口高度，对窗洞取洞顶至托梁顶面距离。对自承重墙梁，洞口至边支座中心的距离不应小于 $0.1l_{oi}$，门窗洞上口至墙顶的距离不应小于 0.5m。

3. 洞口边缘至支座中心的距离，距边支座不应小于墙梁计算跨度的 0.15 倍，距中支座不应小于墙梁计算跨度的 0.07 倍。托梁支座处上部墙体设置混凝土构造柱且构造柱边缘至洞口边缘的距离不小于 240mm 时，洞口边至支座中心距离的限值可不受本规定限制。

4. 托梁高跨比，对无洞口墙梁不宜大于 1/7，对靠近支座有洞口的墙梁不宜大于 1/6。配筋砌块砌体墙梁的托梁高跨比可适当放宽，但不宜小于 1/14；当墙梁结构中的墙体均为配筋砌块砌体时，墙体总高度可不受本规定限制。

（三）墙梁的计算简图，应按图 13-25 采用。各计算参数应符合下列规定：

1. 墙梁计算跨度，对简支墙梁和连续墙梁取净跨的 1.1 倍或支座中心线距离的较小值；框支墙梁支座中心线距离，取框架柱轴线间的距离；

2. 墙体计算高度，取托梁顶面上一层墙体（包括顶梁）高度，当 h_w 大于 l_0 时，取 h_w 等于 l_0（对连续墙梁和多跨框支墙梁，l_0 取各跨的平均值）；

3. 墙梁跨中截面计算高度，取 $H_0 = h_w + 0.5h_b$；

4. 翼墙计算宽度，取窗间墙宽度或横墙间距的 2/3，且每边不大于 3.5 倍的墙体厚度和墙梁计算跨度的 1/6；

5. 框架柱计算高度，取 $H_c = H_{cn} + 0.5h_b$；H_{cn} 为框架柱的净高，取基础顶面至托梁底面的距离。

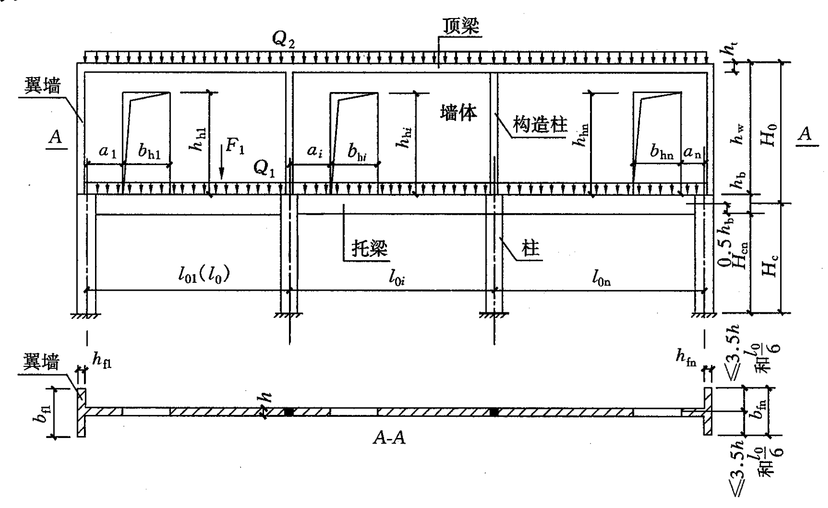


图 13-25 墙梁计算简图

l_0（l_{0i}）—墙梁计算跨度；h_w —墙体计算高度；h —墙体厚度；H_0 —墙梁跨中截面计算高度；b_{f1} —翼墙计算宽度；H_c —框架柱计算高度；b_{hi} —洞口宽度；h_{hi} —洞口高度；a_i —洞口边缘至支座中心的距离；Q_1、F_1—承重墙梁的托梁顶面的荷载设计值；Q_2—承重墙梁的墙梁顶面的荷载设计值

（四）墙梁的计算荷载，应按下列规定采用：

1. 使用阶段墙梁上的荷载，应按下列规定采用：

（1）承重墙梁的托梁顶面的荷载设计值，取托梁自重及本层楼盖的恒荷载和活荷载；

（2）承重墙梁的墙梁顶面的荷载设计值，取托梁以上各层墙体自重，以及墙梁顶面以上各层楼（屋）盖的恒荷载和活荷载；集中荷载可沿作用的跨度近似化为均布荷载；

（3）自承重墙梁的墙梁顶面的荷载设计值，取托梁自重及托梁以上墙体自重。

2. 施工阶段托梁上的荷载，应按下列规定采用：

（1）托梁自重及本层楼盖的恒荷载；

（2）本层楼盖的施工荷载；

（3）墙体自重，可取高度为 $l_{0max}/3$ 的墙体自重，开洞时尚应按洞顶以下实际分布的墙体自重复核；l_{0max} 为各计算跨度的最大值。

（五）墙梁应分别进行托梁使用阶段正截面承载力和斜截面受剪承载力计算、墙体受剪承载力和托梁支座上部砌体局部受压承载力计算，以及施工阶段托梁承载力验算。自承重墙梁可不验算墙体受剪承载力和砌体局部受压承载力。

（六）墙梁的托梁正截面承载力应按下列规定计算：

1. 托梁跨中截面应按钢筋混凝土偏心受拉构件计算；

2. 托梁支座截面应按钢筋混凝土受弯构件计算。

（七）对多跨框支墙梁的框支边柱，当柱的轴向压力增大对承载力不利时，在墙梁荷载设计值 Q_2 作用下的轴向压力值应乘以修正系数 1.2。

（八）墙梁的托梁斜截面受剪承载力应按混凝土受弯构件计算，第 j 支座边缘截面的剪力设计值 V_{bj} 可按下式计算：

$$V_{bj} = V_{1j} + \beta_v V_{2j} \tag{13-19}$$

式中 V_{1j}——荷载设计值 Q_1、F_1 作用下按简支梁、连续梁或框架分析的托梁第 j 支座边缘截面剪力设计值；

V_{2j}——荷载设计值 Q_2 作用下按简支梁、连续梁或框架分析的托梁第 j 支座边缘截面剪力设计值；

β_v——考虑墙梁组合作用的托梁剪力系数，无洞口墙梁边支座截面取 0.6，中间支座截面取 0.7；有洞口墙梁边支座截面取 0.7，中间支座截面取 0.8；对自承重墙梁，无洞口时取 0.45，有洞口时取 0.5。

（九）墙梁的墙体受剪承载力，应按下式验算，当墙梁支座处墙体中设置上、下贯通的落地混凝土构造柱，且其截面不小于 240mm×240mm 时，可不验算墙梁的墙体受剪承载力。

$$V_2 \leqslant \xi_1 \xi_2 \left(0.2 + \frac{h_b}{l_{0i}} + \frac{h_t}{l_{0i}}\right) f h h_w \tag{13-20}$$

式中 V_2——在荷载设计值 Q_2 作用下墙梁支座边缘截面剪力的最大值；

ξ_1——翼墙影响系数，对单层墙梁取 1.0，对多层墙梁，当 $b_f/h = 3$ 时取 1.3，当 $b_f/h = 7$ 时取 1.5，当 $3 < b_f/h < 7$ 时，按线性插入取值；

ξ_2——洞口影响系数，无洞口墙梁取 1.0，多层有洞口墙梁取 0.9，单层有洞口墙梁取 0.6；

h_t——墙梁顶面圈梁截面高度。

（十）托梁支座上部砌体局部受压承载力，应按公式（13-21）验算，当墙梁的墙体中设置上、下贯通的落地混凝土构造柱，且其截面不小于 240mm×240mm 时，或当 b_f/h 大

于等于5时，可不验算托梁支座上部砌体局部受压承载力。

$$Q_2 \leqslant \zeta f h \tag{13-21}$$

$$\zeta = 0.25 + 0.08 \frac{b_f}{h} \tag{13-22}$$

式中 ζ——局压系数。

（十一）托梁应按混凝土受弯构件进行施工阶段的受弯、受剪承载力验算，作用在托梁上的荷载可按三、墙梁第（四）条的规定采用。

（十二）墙梁的构造应符合下列规定：

1. 托梁和框支柱的混凝土强度等级不应低于C30；

2. 承重墙梁的块体强度等级不应低于MU10，计算高度范围内墙体的砂浆强度等级不应低于M10（Mb10）；

3. 框支墙梁的上部砌体房屋，以及设有承重的简支墙梁或连续墙梁的房屋，应满足刚性方案房屋的要求；

4. 墙梁的计算高度范围内的墙体厚度，对砖砌体不应小于240mm，对混凝土砌块砌体不应小于190mm；

5. 墙梁洞口上方应设置混凝土过梁，其支承长度不应小于240mm；洞口范围内不应施加集中荷载；

6. 承重墙梁的支座处应设置落地翼墙，翼墙厚度，对砖砌体不应小于240mm，对混凝土砌块砌体不应小于190mm，翼墙宽度不应小于墙梁墙体厚度的3倍，并与墙梁墙体同时砌筑。当不能设置翼墙时，应设置落地且上、下贯通的混凝土构造柱；

7. 当墙梁墙体在靠近支座1/3跨度范围内开洞时，支座处应设置落地且上、下贯通的混凝土构造柱，并应与每层圈梁连接；

8. 墙梁计算高度范围内的墙体，每天可砌筑高度不应超过1.5m，否则，应加设临时支撑；

9. 托梁两侧各两个开间的楼盖应采用现浇混凝土楼盖，楼板厚度不应小于120mm，当楼板厚度大于150mm时，应采用双层双向钢筋网，楼板上应少开洞，洞口尺寸大于800mm时应设洞口边梁；

10. 托梁每跨底部的纵向受力钢筋应通长设置，不应在跨中弯起或截断；钢筋连接应采用机械连接或焊接；

11. 托梁跨中截面的纵向受力钢筋总配筋率不应小于0.6%；

12. 托梁上部通长布置的纵向钢筋面积与跨中下部纵向钢筋面积之比值不应小于0.4；连续墙梁或多跨框支墙梁的托梁支座上部附加纵向钢筋从支座边缘算起每边延伸长度不应小于$l_0/4$；

13. 承重墙梁的托梁在砌体墙、柱上的支承长度不应小于350mm；纵向受力钢筋伸入支座的长度应符合受拉钢筋的锚固要求；

14. 当托梁截面高度h_b大于等于450mm时，应沿梁截面高度设置通长水平腰筋，其直径不应小于12mm，间距不应大于200mm；

15. 对于洞口偏置的墙梁，其托梁的箍筋加密区范围应延到洞口外，距洞边的距离大于等于托梁截面高度h_b（图13-26），箍筋直径不应小于8mm，间距不应大于100mm。

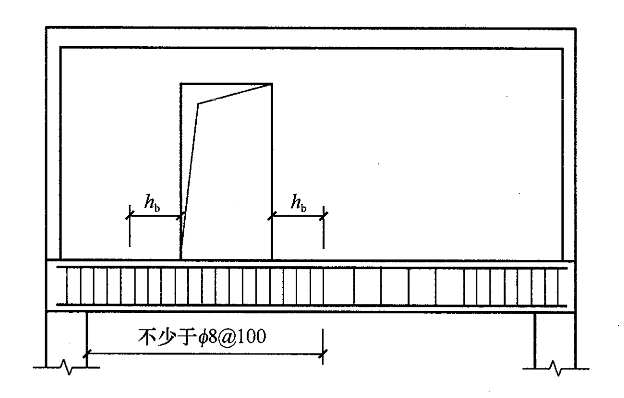


图 13-26　偏开洞时托梁箍筋加密区

四、挑梁

（一）砌体墙中混凝土挑梁的抗倾覆，应按下列公式进行验算：

$$M_{ov} \leqslant M_r \tag{13-23}$$

式中　M_{ov}——挑梁的荷载设计值对计算倾覆点产生的倾覆力矩；

M_r——挑梁的抗倾覆力矩设计值。

（二）挑梁计算倾覆点至墙外边缘的距离可按下列规定采用：

1. 当 l_1 不小于 2.2 h_b 时（l_1 为挑梁埋入砌体墙中的长度，h_b 为挑梁的截面高度），梁计算倾覆点到墙外边缘的距离可按下式计算，且其结果不应大于 0.13 l_1。

$$x_0 = 0.3h_b \tag{13-24}$$

式中　x_0——计算倾覆点至墙外边缘的距离（mm）；

2. 当 l_1 小于 2.2 h_b 时，梁计算倾覆点到墙外边缘的距离可按下式计算：

$$x_0 = 0.13l_1 \tag{13-25}$$

3. 当挑梁下有混凝土构造柱或垫梁时，计算倾覆点到墙外边缘的距离可取 0.5 x_0。

（三）挑梁的抗倾覆力矩设计值，可按下式计算：

$$M_r = 0.8G_r(l_2 - x_0) \tag{13-26}$$

式中　G_r——挑梁的抗倾覆荷载，为挑梁尾端上部 45°扩展角的阴影范围（其水平长度为 l_3）内本层的砌体与楼面恒荷载标准值之和（图 13-27）；当上部楼层无挑梁时，抗倾覆荷载中可计及上部楼层的楼面永久荷载；

l_2——G_r 作用点至墙外边缘的距离。

（四）挑梁下砌体的局部受压承载力，可按下式验算（图 13-28）：

$$N_l \leqslant \eta\gamma f A_l \tag{13-27}$$

式中　N_l——挑梁下的支承压力，可取 $N_l = 2R$，R 为挑梁的倾覆荷载设计值；

η——梁端底面压应力图形的完整系数，可取 0.7；

γ——砌体局部抗压强度提高系数，对图 13-28（a）可取 1.25；对图 13-28（b）可取 1.5；

A_l ——挑梁下砌体局部受压面积，可取 $A_l = 1.2bh_b$，b 为挑梁的截面宽度，h_b 为挑梁的截面高度。

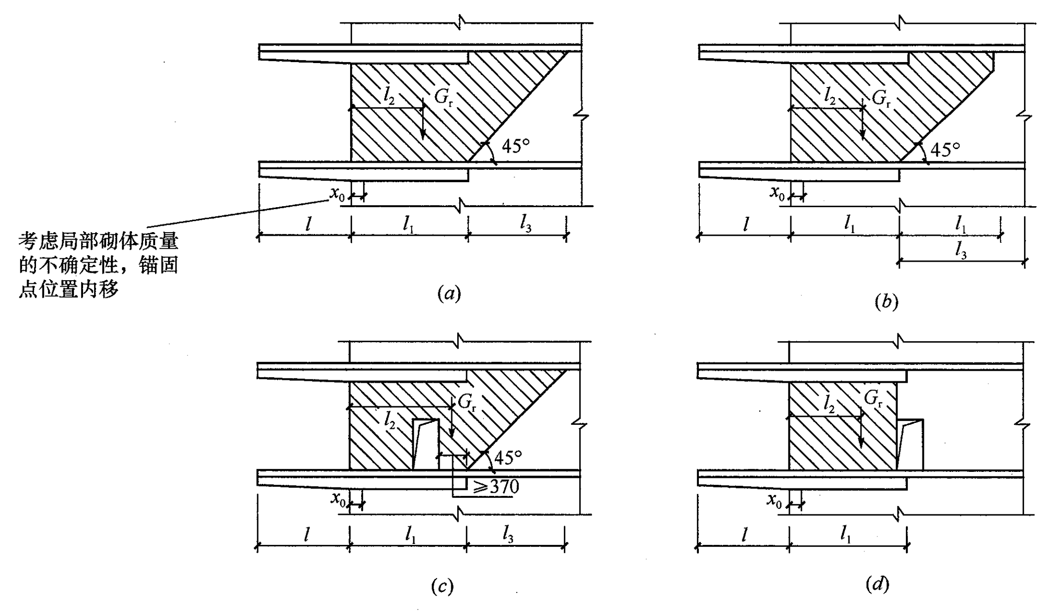


图 13-27 挑梁的抗倾覆荷载

(a) $l_3 \leqslant l_1$ 时；(b) $l_3 > l_1$ 时；(c) 洞在 l_1 之内；(d) 洞在 l_1 之外

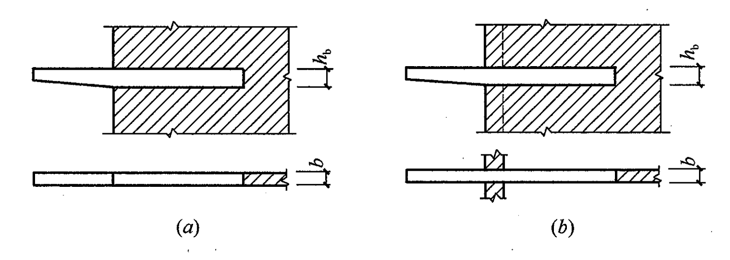


图 13-28 挑梁下砌体局部受压

(a) 挑梁支承在一字墙上；(b) 挑梁支承在丁字墙上

（五）挑梁的最大弯矩设计值 M_{max} 与最大剪力设计值 V_{max}，可按下列公式计算：

$$M_{max} = M_0 \tag{13-28}$$

$$V_{max} = V_0 \tag{13-29}$$

式中 M_0 ——挑梁的荷载设计值对计算倾覆点截面产生的弯矩；

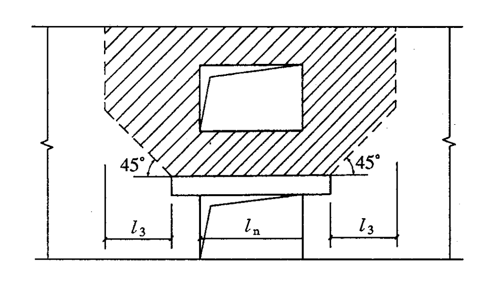
V_0 ——挑梁的荷载设计值在挑梁墙外边缘处截面产生的剪力。

（六）挑梁设计除应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定外，尚应满足下列要求：

1. 纵向受力钢筋至少应有 1/2 的钢筋面积伸入梁尾端，且不少于 2ϕ12。其余钢筋伸入支座的长度不应小于 $2l_1/3$；

2. 挑梁埋入砌体长度 l_1 与挑出长度 l 之比宜大于 1.2；当挑梁上无砌体时，l_1 与 l 之比宜大于 2。

（七）雨篷等悬挑构件可按四、挑梁第（一）～（三）条进行抗倾覆验算，其抗倾覆荷载 G_r 可按图 13-29 采用，G_r 距墙外边缘的距离为墙厚的 1/2，l_3 为门窗洞口净跨的 1/2。



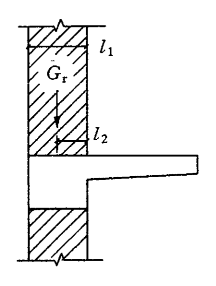


图 13-29　雨篷的抗倾覆荷载

G_r—抗倾覆荷载；l_1—墙厚；l_2—G_r距墙外边缘的距离

习　题

13-1　砌体结构中，刚性和刚弹性房屋横墙厚度不宜小于(　　)。

A　120mm　　B　180mm

C　240mm　　D　由计算确定

13-2　对厚度为 240mm 的砖墙，大梁支承处宜加设壁柱，其条件取决于大梁跨度，以下所列条件，何者是正确的？(　　)

A　大梁跨度为 4.8m 时　　B　大梁跨度大于或等于 4.8m 时

C　大梁跨度大于或等于 6.0m 时　　D　大梁跨度为 7.2m 时

13-3　同一种砌体结构，当对其承重墙、柱的允许高厚比验算时，下列结论何者为正确？(　　)

A　砂浆强度等级相同时，墙比柱高　　B　砂浆强度等级相同时，柱比墙高

C　砂浆强度设计值相同时，墙比柱高　　D　砂浆强度设计值相同时，柱比墙高

13-4　砌筑潮湿房间的砖墙，其砂浆最低强度等级为(　　)。

A　M1　　B　M2.5

C　M5　　D　M10

13-5　在非地震区，且无振动的砌体房屋采用钢筋砖过梁时，其跨度不宜超过(　　)。

A　0.8m　　B　1.0m

C　1.5m　　D　3.0m

13-6　砌体防潮层的设置，下列哪一种叙述是错误的？(　　)

A　室内地面以下

B　室外散水顶面以下

C　勒脚采用水泥砂浆

D　对防潮以下砌体材料最低等级，规范有专门规定

13-7　砌体房屋中，在确定墙体高厚比时，下列哪种叙述是正确的？(　　)

A　根据建筑设计需要　　B　根据承载力确定

C　根据计算需要确定　　D　根据墙体的整体刚度确定

13-8　砌体房屋承重的独立砖柱，截面最小尺寸为(　　)。

A　240mm×240mm　　B　240mm×370mm

C　370mm×370mm　　D　不做规定

13-9　为了防止砌体房屋因温差和砌体干缩引起墙体产生竖向裂缝，应设置伸缩缝。下列哪种情况允许温度伸缩缝间距最大？(　　)

A　现浇钢筋混凝土楼（屋）盖，有保温层

B　现浇钢筋混凝土楼（屋）盖，无保温层

C 装配式钢筋混凝土楼（屋）盖，有保温层

D 装配式钢筋混凝土楼（屋）盖，无保温层

13-10 下列关于砌体抗压强度的说法哪一种不正确？（　　）

A 块体的抗压强度恒大于砌体的抗压强度

B 砂浆的抗压强度恒大于砌体的抗压强度

C 砌体的抗压强度随砂浆的强度提高而提高

D 砌体的抗压强度随块体的强度提高而提高

13-11 下列关于砌筑砂浆的说法哪一种不正确？（　　）

A 砂浆的强度等级是按立方体试块进行抗压试验而确定

B 石灰砂浆强度低，但砌筑方便

C 水泥砂浆适用于潮湿环境的砌体

D 用同强度等级的水泥砂浆及混合砂浆砌筑的墙体，前者强度设计值高于后者

13-12 砌体一般不能用于下列何种结构构件？（　　）

A 受压　　　　B 受拉

C 受弯　　　　D 受剪

13-13 对于地面以下或防潮层以下的砌体，不得采用下列中的哪种材料？（　　）

A 混合砂浆　　　　B 烧结多孔砖

C 混凝土砌块　　　　D 蒸压灰砂砖

13-14 在选择砌体材料时，下列哪一种说法不正确？（　　）

A 五层及五层以上房屋的墙体，应采用不低于 MU10 的砖

B 施工时允许砌筑的墙高与墙厚度无关

C 地面以上砌体应优先采用混合砂浆

D 在冻胀地区，地面或防潮层以下的墙体不宜采用多孔砖

13-15 某室外砌体结构矩形水池，当超量蓄水时，水池长边中部墙体首先出现裂缝的部位为下述中的哪处（提示：水池足够长）？（　　）

A 池底外侧 a 处，水平裂缝

B 池底内侧 b 处，水平裂缝

C 池壁中部 c 处，水平裂缝

D 池壁中部 c 处，竖向裂缝

题 13-15 图

13-16 在抗震设防 7 度地震区，建造一幢 6 层中学教学楼，下列中哪一种结构体系较为合理？（　　）

A 钢筋混凝土框架结构　　　　B 钢筋混凝土框—剪结构

C 普通砖砌体结构　　　　D 多孔砖砌体结构

13-17 多层砌体结构计算墙体的高厚比的目的，下列中哪一个说法是正确的？（　　）

A 稳定性要求　　　　B 强度要求

C 变形要求　　　　D 抗震要求

13-18 砌体的线膨胀系数和收缩率与下列中的哪种因素有关？（　　）

A 砌体类别　　　　B 砌体抗压强度

C 砂浆种类　　　　D 砂浆强度等级

13-19 关于砌体抗剪强度的叙述，下列中哪种正确？（　　）

A 与块体强度等级、块体种类、砂浆强度等级均相关

B 与块体强度等级无关，与块体种类、砂浆强度等级有关

C 与块体种类无关，与块体强度等级、砂浆强度等级有关

D 与砂浆种类无关，与块体强度等级、块体种类有关

13-20 关于砌体的抗压强度，下列中哪一种说法不正确？（　　）

A 砌体的抗压强度比其抗拉、抗弯和抗剪强度更高

B 采用的砂浆种类不同，抗压强度设计取值不同

C 块体的抗压强度恒大于砌体的抗压强度

D 抗压强度设计取值与构件截面面积无关

13-21 对于安全等级为一级的砌体结构房屋，在严寒很潮湿的基土环境下，规范对地面以下的砌体材料最低强度等级要求，下列中哪一项不正确？（　　）

A 烧结普通砖 MU15　　B 石材 MU40

C 混凝土砌块 MU10　　D 水泥砂浆 M10

13-22 关于烧结黏土砖砌体与蒸压灰砂砖砌体性能的论述，下列何项正确？（　　）

A 二者的线胀系数相同　　B 前者的线胀系数比后者大

C 前者的线胀系数比后者小　　D 二者具有相同的收缩率

13-23 目前市场上的承重用 P 型砖和 M 型砖，属于下列哪类砖？（　　）

A 烧结普通砖　　B 烧结多孔砖

C 蒸压灰砂砖　　D 蒸压粉煤灰砖

13-24 各类砌体抗压强度设计值可按下列何项原则确定？（　　）

A 龄期 14d，以净截面计算　　B 龄期 14d，以毛截面计算

C 龄期 28d，以净截面计算　　D 龄期 28d，以毛截面计算

13-25 混凝土小型空心砌块结构下列部位墙体，何项可不采用混凝土灌实砌体孔洞？（　　）

A 圈梁下的一皮砌块

B 无圈梁的钢筋混凝土楼板支承面下的一皮砌块

C 未设混凝土垫块的梁支承处

D 底层室内地面以下的砌体

13-26 顶层带阁楼的坡屋面砌体结构房屋，其房屋总高度应按下列何项计算？（　　）

A 算至阁楼顶　　B 算至阁楼地面

C 算至山尖墙的 1/2 高度处　　D 算至阁楼高度的 1/2 处

13-27 对设置夹心墙的理解，下列何项正确？（　　）

A 建筑节能的需要　　B 墙体承载能力的需要

C 墙体稳定的需要　　D 墙体耐久性的需要

13-28 砌体结构的屋盖为瓦材屋面的木屋盖和轻钢屋盖，当采用刚性方案计算时，其房屋横墙间距应小于下列哪一个取值？（　　）

A 12m　　B 16m

C 18m　　D 20m

13-29 砌体结构房屋的墙和柱应验算高厚比，以符合稳定性的要求，下列何种说法是不正确的？（　　）

A 自承重墙的允许高厚比可适当提高

B 有门窗洞口的墙，其允许高厚比应适当降低

C 刚性方案房屋比弹性方案房屋的墙体高厚比计算值大

D 砂浆强度等级越高，允许高厚比也越高

13-30 承重用混凝土小型空心砌块的空心率宜为下列何值？（　　）

A 10%以下　　B 25%～50%

C 70%～80%　　D 95%以上

13-31 砌体的抗压强度（　　）。

A 恒大于砂浆的抗压强度

B　恒小于砂浆的抗压强度

C　恒大于块体（砖、石、砌块）的抗压强度

D　恒小于块体（砖、石、砌块）的抗压强度

13-32　对夹心墙中叶墙之间连接件作用的下列描述，何项不正确？(　　)

A　协调内、外叶墙的变形　　B　提高内叶墙的承载力

C　减小夹心墙的裂缝　　D　增加叶墙的稳定性

参考答案

13-1　B	13-2　C	13-3　A	13-4　C	13-5　C	13-6　B
13-7　D	13-8　B	13-9　C	13-10　B	13-11　B	13-12　B
13-13　A	13-14　B	13-15　B	13-16　A	13-17　A	13-18　A
13-19　B	13-20　D	13-21　A	13-22　C	13-23　B	13-24　D
13-25　A	13-26　C	13-27　A	13-28　B	13-29　C	13-30　B
13-31　D	13-32　C				

第十四章 木结构设计

第一节 木结构用木材

一、木结构的特点和适用范围

由木材或主要由木材组成的承重结构称为木结构。由于树木分布普遍，易于取材，采伐加工方便，同时木材质轻且强，所以很早就被广泛地用来建造房屋和桥梁。木材是天然生成的建筑材料，它有以下一些缺点：各向异性、天然缺陷（木节、裂缝、斜纹等）、天然尺寸受限制、易腐、易蛀、易裂和翘曲。因此，木结构要求采用合理的结构形式和节点连接形式，施工时应严格保证施工质量，并在使用中经常注意维护，以保证结构具有足够的可靠性和耐久性。

由于木材生长速度缓慢，我国木材资源有限，因此目前在大、中城市的建设中已不准采用木结构。但在木材产区的县镇，砖木混合结构的房屋还比较常见。近年来，胶合木结构也正在积极研究推广，速生树种的应用范围也在不断扩大，因此，木结构在一定范围内还会得到利用和发展。

承重木结构应在正常温度和湿度环境中的房屋结构和构筑物中使用。凡处于下列生产、使用条件的房屋和构筑物不应采用木结构：

（1）极易引起火灾的；

（2）受生产性高温影响，木材表面温度高于50℃的；

（3）经常受潮且不易通风的。

二、木结构用材的种类及分类

（一）木结构用材的种类

结构用的木材分两类：针叶材和阔叶材。主要承重构件宜采用针叶材，如红松、云杉、冷杉等；重要的木质连接件应采用细密、直纹、无节和其他缺陷且耐腐的硬质阔叶材，如榆树材、槐树材、桦树材等。

（二）木结构用材的分类

木结构构件所用木材根据使用前截面的不同，可分为原木、方木和板材三种。

1. 原木

原木又称圆木，可分为整原木和半原木。原木根部直径较粗，梢部直径较细，其直径变化一般取沿长度相差1m变化9mm。原木梢部直径为梢径。原木直径以梢径来度量。

2. 方材

截面宽度与厚度之比小于3的称为方材（方木），常用厚度为60～240mm。

3. 板材

截面宽度与厚度之比大于3的为板材，常用厚度为15～80mm。

三、木材的力学性能

（一）木材的受拉性能

木材顺纹抗拉强度最高，而横纹抗拉强度很低，仅为顺纹抗拉强度的 1/10～1/40。木材在受拉破坏前变形很小，没有显著的塑性变形，因此属于脆性破坏。

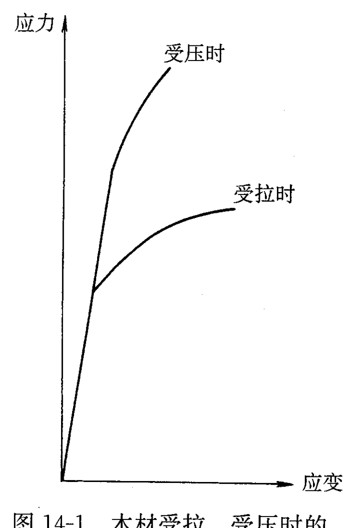


图 14-1 木材受拉、受压时的应力-应变曲线

（二）木材的顺纹受压性能

由木材顺纹受压时的应力-应变关系（图 14-1）可见，木材受压时具有较好的塑性变形，它可以使应力集中逐渐趋于缓和，所以局部削弱的影响比受拉时小得多。木节对受压强度的影响也较小，斜纹和裂缝等缺陷和疵病也较受拉时的影响缓和，所以木材的受压工作要比受拉工作可靠得多。

（三）木材的受弯性能

由木材横向弯曲试验得到试件中部（纯弯曲段）截面的应力分布（图 14-2）。从图中可以看出，截面的应力只在加荷初期才呈直线分布。随着荷载的增加，在截面的受压区，压应力分布将逐渐成为曲线，而受拉区内应力的分布仍接近于直线，中和轴逐渐下移。当受压边缘纤维应力达到其强度极限值时将保持不变，此时的塑性区不断向内扩展，拉应力不断增大，一直到边缘拉应力到达抗拉强度极限时，试件即告破坏。木材的抗弯强度极限是从测得的破坏弯矩 M 按 $\sigma=\frac{M}{W}$ 求得的（W——试件截面抵抗矩），是假定法向应力呈直线分布导出的，并不代表试件破坏时截面的实际应力，它实际上是一个虚设的极限应力，按这个公式求得的极限抗弯强度只是一个折算的指标。

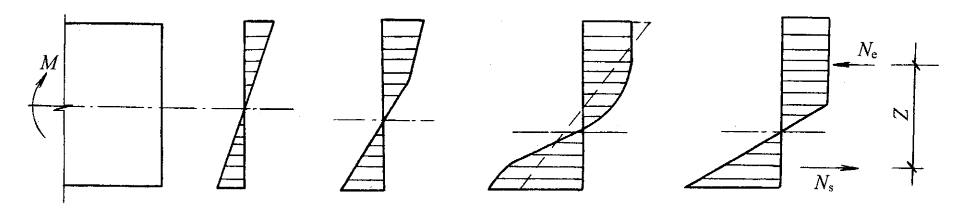


图 14-2 木材受弯的应力阶段

（四）木材的承压性能

两个构件利用表面互相接触传递压力叫作承压；作用在接触面上的应力叫作承压力。在构件的接头和连接中常遇到这种情况。

木材承压工作按外力与木纹所成角度的不同，可分为顺纹承压、横纹承压和斜纹承压三种形式（图 14-3）。图中三种承压强度，顺纹承压>斜纹承压>横纹承压。

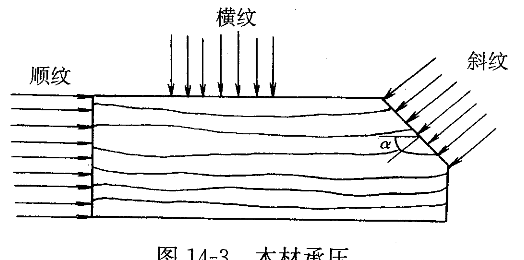


图 14-3 木材承压

木材的强度等级以抗弯强度设计值表示，如 TC17 的抗弯强度 $f_m=17N/mm^2$。根据

《木结构规范》表 4.2.1-3，同一木材强度等级中，抗弯强度（f_m）>顺纹抗压及承压（f_c）>顺纹抗拉（f_t）>横纹承压（$f_{c,90}$）>顺纹抗剪（f_v）。

当构件矩形截面的短边尺寸≥150mm 时，其强度设计值可提高 10%；当采用湿材时，各种木材的横纹承压强度设计值宜降低 10%。

1. 顺纹受压

木材的顺纹承压强度一般略低于顺纹受压的强度，这是由于承压面不可能完全平整，致使承压力分布不均匀；又由于两构件的年轮不可能对准，一构件晚材压入另一构件早材，也使变形增大。但两者相差很小，所以，《木结构设计规范》GB 50005（以下简称《木结构规范》）将顺纹承压与顺纹受压强度取同一值。

2. 横纹承压

横纹承压分为局部长度承压、局部长度和局部宽度承压、全表面承压三种情况［图 14-4（*a*）～（*c*）］。

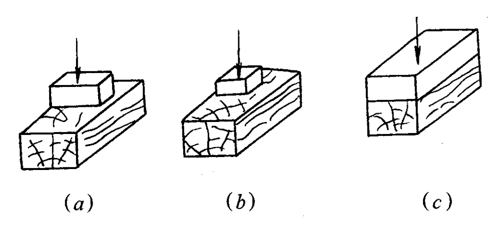


图 14-4　横纹承压

局部长度承压的强度较高，因为局部长度承压时，不承压部分的纤维对其受压部分的纤维的变形有阻止作用，实际上起到了支持和减载的作用。在局部长度承压中，承压面长度越小，承压强度越高，但如构件全长 l 与承压面长度 l_c 之比 $l/l_c>3$ 时，承压强度将不再提高。此外，如未承压长度不小于构件厚度时，两端将出现开裂(图 14-5)，因此构造上要求保证未承压长度小于承压面的长度和构件的厚度。

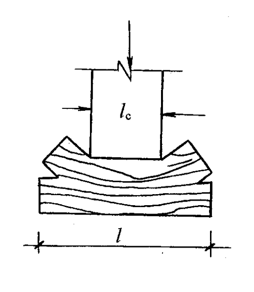


图 14-5　横纹开裂

在部分宽度上的局面承压，因为木材在横纹方向彼此牵制作用很小，所以局部承压中不考虑在宽度方向未受力部分的影响。

木材全部表面横纹承压时变形较大，加荷至一定限度后，由于细胞壁逐渐破裂被压扁，塑性变形发展很快，当所有细胞壁被压扁，木材被压实，其变形逐渐减小直至纤维束失去稳定而破坏。所以横纹全部表面承压的强度最低。

3. 斜纹承压

斜纹承压即外力与木纹成一定角度的局部承压。斜纹承压的强度介于顺纹承压和横纹承压之间。其值随 α 角（见图 14-3）的增加而降低。

（五）木材的受剪性能

木材的受剪可分为截纹受剪、顺纹受剪和横纹受剪（图 14-6）。

截纹受剪是指剪切面垂直于木纹，木材对这种剪切的抵抗能力很大，一般不会发生这种破坏。顺纹受剪是指作用力与木板平行。横纹受剪是指作用力与木纹垂直。横纹剪切强度约为顺纹剪切强度的一半，而截纹剪切则为顺纹剪切强度的 8 倍。木结构中通常多用顺纹受剪。剪切破坏属于脆性破坏。

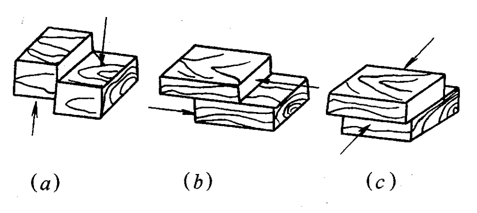


图 14-6　木材的受剪

（*a*）截纹；（*b*）顺纹；（*c*）横纹

四、影响木材力学性能的因素

木材是由管状细胞组成的天然有机材料，它的力学性能受着许多因素的影响。

（一）木材的缺陷

天然生长的木材不可避免地会存在一些缺陷，对木材影响最大的缺陷是腐朽、虫蛀，这是任何等级的木材绝对不允许的；此外，对木材影响较大的缺陷有木节、斜纹、裂缝以及髓心。木材缺陷对抗拉强度影响最大，因受拉变形小，属脆性破坏。

《木结构规范》将木材材质按缺陷的多少和大小，以及承重结构的受力要求，分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个等级（Ⅰ级最好，Ⅲ级最差）。普通木结构承重结构构件按受力方式及受力重要性分为三类：受拉或拉弯构件材质等级选用I_a级；受弯或压弯构件材质等级选用II_a级；受压构件及次要受弯构件（如吊顶小龙骨）材质等级选用III_a级。胶合木结构构件的木材材质等级按其主要用途分为I_b、II_b、III_b三个等级。轻型木结构的材质等级分为I_c、II_c、III_c、IV_c、V_c、VI_c、VII_c七个等级（详见《木结构规范》表 3.1.2、表 3.1.8、表 3.1.11）。

木材强度等级是指不同树种的木材，按抗弯强度设计值来划分等级。

对木材材质的要求排序为：受拉＞受弯＞受压。

（二）含水率

木材的含水率对木材强度有很大影响，木材强度一般随含水率的增加而降低，当含水率达到纤维饱和点时，含水率再增加，木材强度也不再降低。含水率对受压、受弯、受剪及承压强度影响较大，而对受拉强度影响较小。

按含水率的大小，木材可分为干材（含水率≤18%）、半干材（含水率＝18%～25%）和湿材（含水率＞25%）。《木结构规范》规定，在制作构件时，木材的含水率应符合下列要求：

1. 现场制作的原木或方木结构不应大于 25%；
2. 板材和规格材不应大于 20%；
3. 受拉构件的连接板不应大于 18%；
4. 作为连接件不应大于 15%；
5. 层板胶合木结构不应大于 15%，且同一构件各层木板间的含水率差别不应大于 5%。

（三）木纹斜度

木材是一种各向异性的材料，不同方向的受力性能相差很大，同一木材的顺纹强度最高，横纹强度最低。

此外，木材的力学性能还与受荷载作用时间、温度的高低、湿度等因素的影响有关。受荷载作用随时间的增长，木材的强度和刚度下降；温度升高，湿度增大，木材的强度和刚度下降。

第二节　木结构构件的计算

木结构计算时，规范规定：

1. 验算挠度和稳定时，取构件的中央截面；
2. 验算抗弯强度时，取最大弯矩处的截面；
3. 标注原木直径时，以小头为准。

一、木结构的设计方法

木结构采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，计算时考虑以下两种极限状态：

（一）承载能力极限状态

与钢结构一样，按承载能力极限状态设计时，木结构的设计表达式采用应力表示的计算式，木材强度的设计值按《木结构规范》表 4.2.1-3 采用。计算内容包括强度和稳定。

（二）正常使用极限状态

按正常使用极限状态设计时，对结构和构件采用荷载的标准值（按荷载的短期效应组合）验算其变形；对受压构件验算其长细比。

二、木结构构件的计算

（一）轴心受拉构件

轴心受拉构件的承载力按下式计算：

$$\frac{N}{A_n} \leqslant f_t \tag{14-1}$$

式中 N——轴心受拉构件拉力设计值（N）；

A_n——受拉构件的净截面面积（mm^2），计算 A_n 时应扣除分布在 150mm 长度上的缺孔投影面积（图 14-7）；

f_t——木材顺纹抗拉强度设计值（N/mm^2）。

（二）轴心受压构件

1. 强度计算



$$\frac{N}{A_n} \leqslant f_c \tag{14-2}$$

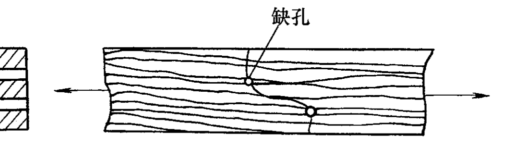


图 14-7　沿曲折路线断裂

式中 N——轴心受压构件压力设计值（N）；

A_n——受压构件净截面面积（mm^2）；

f_c——木材顺纹抗压强度设计值（N/mm^2）。

2. 稳定计算

对于比较细长的压杆，一般在强度破坏前，就因失去稳定而破坏。因此轴心受压构件还需进行稳定计算，即：

$$\frac{N}{\varphi A_0} \leqslant f_c \tag{14-3}$$

式中 N——轴心受压构件压力设计值（N）；

A_0——受压构件截面的计算面积（mm^2），按《木结构规范》第 5.1.3 条确定。

φ——轴心受压构件稳定系数，稳定系数与树种和构件长细比有关，计算如下：

（1）树种强度等级为 TC17、TC15 及 TB20：

当 $\lambda \leqslant 75$ 时：
$$\varphi = \frac{1}{1+\left(\frac{\lambda}{80}\right)^2} \tag{14-4}$$

当 $\lambda > 75$ 时：
$$\varphi = 3000/\lambda^2 \tag{14-5}$$

（2）树种强度等级为 TC13、TC11、TB17、TB15、TB13 及 TB11：

当 $\lambda \leqslant 91$ 时：
$$\varphi = \frac{1}{1+\left(\frac{\lambda}{65}\right)^2} \tag{14-6}$$

当 $\lambda > 91$ 时：
$$\varphi = 2800/\lambda^2 \tag{14-7}$$

式中 λ——构件的长细比，按《木结构规范》第 5.1.5 条确定。

3. 刚度验算

受压构件的刚度以长细比 λ 表示，为避免受压构件因长细比过大，在自重作用下下垂

过大，以及避免过分颤动，受压构件的长细比应满足：

$$\lambda \leqslant [\lambda] \tag{14-8}$$

式中　$[\lambda]$——受压构件容许长细比。按《木结构规范》表 4.2.9 采用。

（三）受弯构件

受弯构件有单向受弯构件和双向受弯构件两种。当荷载的作用平面与截面主轴平面重合时为单向受弯构件［图 14-8（a）］，如房屋中木梁；当荷载的作用平面与截面主轴平面不重合时为双向受弯构件［图 14-8（b）］，如檩条、挂瓦条。

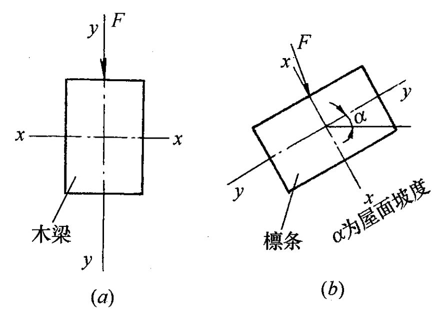


图 14-8　受弯构件的受力状态

（a）单向受弯构件；（b）双向受弯构件

檩条计算时需将竖向荷载 F 分解为垂直于斜屋面和平行于斜屋面的两个分力。强度计算按式（14-12）计算，挠度验算按式（14-13）计算。

1. 单向受弯构件的计算

（1）强度计算

按承载能力极限状态要求，受弯构件应满足强度要求，包括弯曲正应力和剪应力计算。

1）抗弯强度（正应力）计算

$$\frac{M}{W_{\mathrm{n}}} \leqslant f_{\mathrm{m}} \tag{14-9}$$

式中　M——受弯构件弯矩设计值（N·mm）；

W_{n}——受弯构件的净截面抵抗矩（mm^3）；

f_{m}——木材抗弯强度设计值（$\mathrm{N/mm}^2$）。

2）抗剪强度（剪应力）计算

$$\frac{VS}{Ib} \leqslant f_{\mathrm{v}} \tag{14-10}$$

式中　V——受弯构件剪力设计值（N），按《木结构规范》第 5.2.3 条确定；

I——构件的全截面惯性矩（mm^4）；

S——剪切面以上的截面面积对中性轴的面积矩（mm^3）；

b——构件的截面宽度（mm）；

f_{v}——木材顺纹抗剪强度设计值（$\mathrm{N/mm}^2$）。

（2）挠度验算

为满足正常使用极限状态要求，对于受弯构件还需验算其挠度：

$$w \leqslant [w] \tag{14-11}$$

式中　w——构件按荷载效应的标准组合计算的挠度（mm）；

$[w]$——受弯构件的容许挠度值（mm），按《木结构规范》表 4.2.7 采用。

2. 双向受弯构件计算

（1）强度计算

抗弯强度：$$\sigma_{\mathrm{mx}} + \sigma_{\mathrm{my}} = \frac{M_{\mathrm{x}}}{W_{\mathrm{nx}}} + \frac{M_{\mathrm{y}}}{W_{\mathrm{ny}}} \leqslant f_{\mathrm{m}} \tag{14-12}$$

式中　σ_{mx}、σ_{my}——对构件截面 x 轴、y 轴的弯曲应力设计值（$\mathrm{N/mm}^2$）；

M_{x}、M_{y}——对构件截面 x 轴、y 轴的弯矩设计值（N·mm）；

W_{nx}、W_{ny}——构件截面沿 x 轴、y 轴的净截面抵抗矩（mm^3）。

（2）挠度验算

$$w=\sqrt{w_x^2+w_y^2}\leqslant[w] \tag{14-13}$$

式中　w_x、w_y——荷载效应的标准组合计算时对构件截面 x 轴，y 轴方向的挠度（mm）。

（四）拉弯、压弯构件计算

1．拉弯构件

受拉同时受弯的构件称为拉弯构件。拉弯构件所产生的弯矩可能是由于横向荷载引起的拉力的偏心作用引起的，或者是由于不对称的截面削弱引起的。

拉弯构件的承载力按下式计算：

$$\frac{N}{A_n f_t}+\frac{M}{W_n f_m}\leqslant f_1 \tag{14-14}$$

式中符号意义同前。

2．压弯构件

构件受轴向压力的同时还承受弯矩作用的构件称为压弯构件。压弯构件所产生弯矩的原因与拉弯构件相同。木结构中，压弯构件较为常见，当屋架上弦节点间放置檩条时，即为压弯构件。

压弯构件的受力特点是：当构件弯曲时，除初始弯矩和挠曲外，还出现了由轴向压力引起的附加弯矩（图 14-9），在计算中必须考虑这一因素。

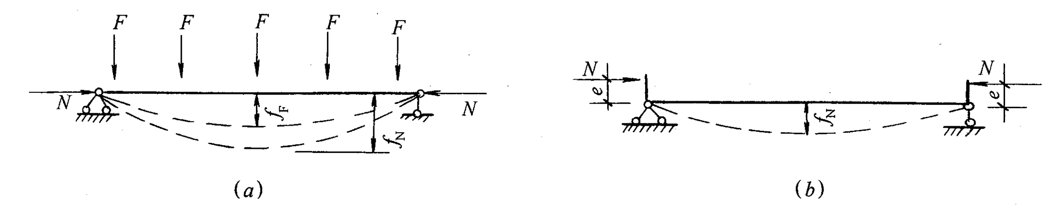


图 14-9　压弯构件的工作

（a）压弯构件；（b）偏心受压构件

（1）强度计算

$$\frac{N}{A_n f_c}+\frac{M}{W_n f_m}\leqslant 1 \tag{14-15}$$

$$M=Ne_0+M_0 \tag{14-16}$$

式中符号意义同前。

（2）稳定计算

$$\frac{N}{\varphi\varphi_m A_0}\leqslant f_c \tag{14-17}$$

$$\varphi_m=(1-K)^2(1-kK) \tag{14-18}$$

$$K=\frac{Ne_0+M_0}{Wf_m\left(1+\sqrt{\frac{N}{Af_c}}\right)} \tag{14-19}$$

$$k=\frac{Ne_0}{Ne_0+M_0} \tag{14-20}$$

式中　φ、A_0——轴心受压构件的稳定系数、计算面积，按《木结构规范》第 5.1.4 条和第 5.1.3 条确定；

φ_m——考虑轴向力和初始弯矩共同作用的折减系数；

N——轴向压力设计值（N）；

M_0——横向荷载作用下跨中最大初始弯矩设计值（N·mm）；

e_0——构件的初始偏心距（mm）。

f_c、f_m——考虑《木结构设计规范》表 4.2.1-4 所列调整系数后的木材顺纹抗压强度设计值、抗弯强度设计值（N/mm²）。

第三节　木结构的连接

一、齿连接

齿连接是通过构件与构件之间直接抵承传力，所以齿连接只应用在受压构件与其他构件连接的节点上。

齿连接有单齿连接与双齿连接（图 14-10），应符合下列规定：

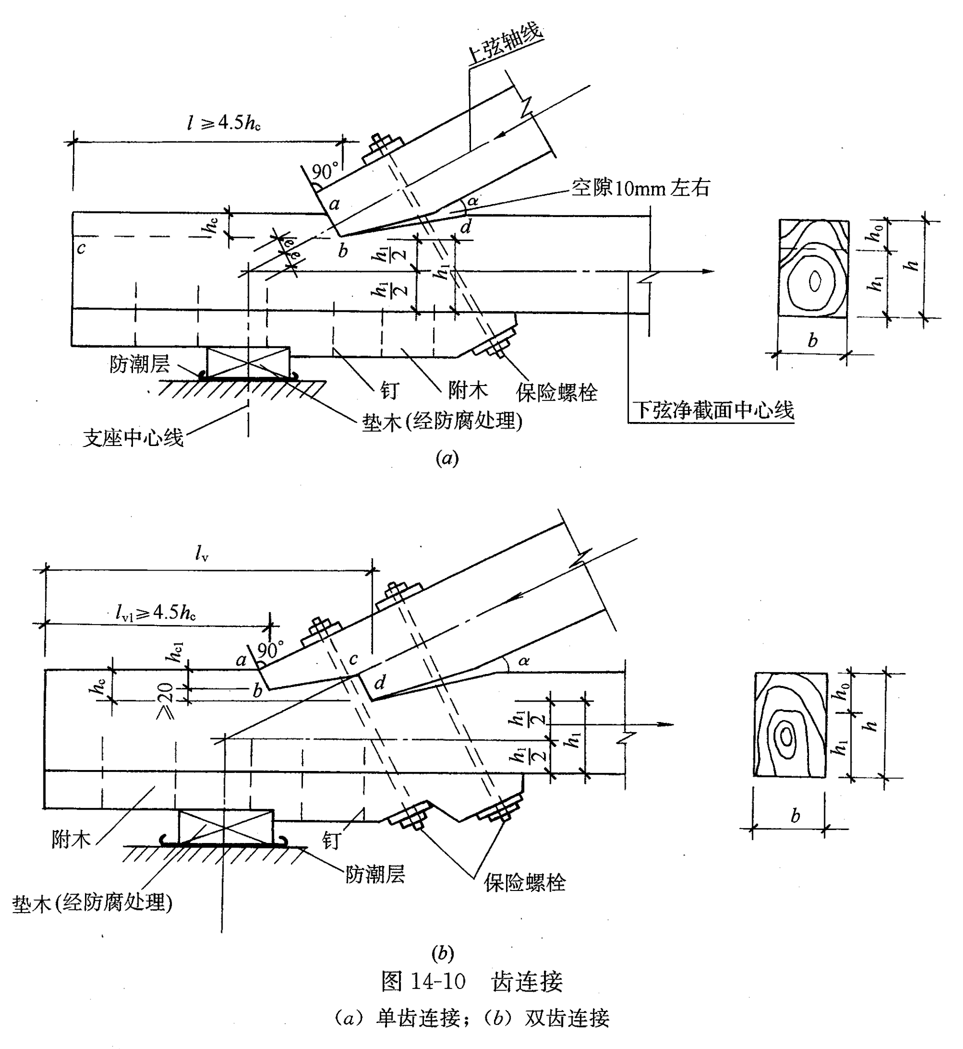


图 14-10　齿连接

（a）单齿连接；（b）双齿连接

1. 齿连接的承压面，应与所连接的压杆轴线垂直。

2. 单齿连接应使压杆轴线通过承压面中心。

3. 上弦轴线及支座反力作用线宜与下弦净截面的中心线交汇于一点；当采用原木时，

可与下弦毛截面的中心线交汇于一点。

4. 齿连接的齿深，对于方木不应小于 20mm；对于原木不应小于 30mm。桁架支座节点齿深不应大于$h/3$（h为齿深方向的构件截面高度）；中间节点的齿深不应大于$h/4$。双齿连接中，第二齿的齿深 h_c 应比第一齿的齿深 h_{c1} 至少大 20mm。单齿和双齿第一齿的剪面长度不应小于 4.5 倍齿深，当采用湿材制作时，木桁架支座节点齿连接的剪面长度应比计算值加长 50mm。

5. 桁架支座节点采用齿连接时，必须设置保险螺栓，但不考虑保险螺栓与齿的共同工作，且保险螺栓应与上弦轴线垂直。设计时，保险螺栓按净截面抗拉验算，其拉力按《木结构规范》给出的公式确定。保险螺栓的强度设计值应乘以 1.25 的调整系数。

6. 计算剪应力时，全部剪力应由第二齿的剪面承受。第二齿剪面的计算长度 l_v 的取值，不得大于齿深 h_c 的 10 倍。

7. 双齿连接时，宜选用两个直径相同的保险螺栓。

二、螺栓连接和钉连接

根据穿过被连接构件间剪力面数目可分为单剪连接和双剪连接（图 14-11）。

在螺栓连接和钉连接中，连接木构件的最小厚度应符合表 14-1 的要求。

螺栓连接和钉连接中木构件的最小厚度 **表 14-1**

连接形式	螺栓连接		钉连接
	$d<18$mm	$d\geqslant18$mm	
双剪连接［图 14-11（a）］	$c\geqslant5d$　$a\geqslant2.5d$	$c\geqslant5d$　$a\geqslant4d$	$c\geqslant8d$　$a\geqslant4d$
单剪连接［图 14-11（b）］	$c\geqslant7d$　$a\geqslant2.5d$	$c\geqslant7d$　$a\geqslant4d$	$c\geqslant10d$　$a\geqslant4d$

注：c—中部构件的厚度或单剪连接中较厚构件的厚度；
a—边部构件的厚度或单剪连接中较薄构件的厚度；
d—螺栓或钉的直径。

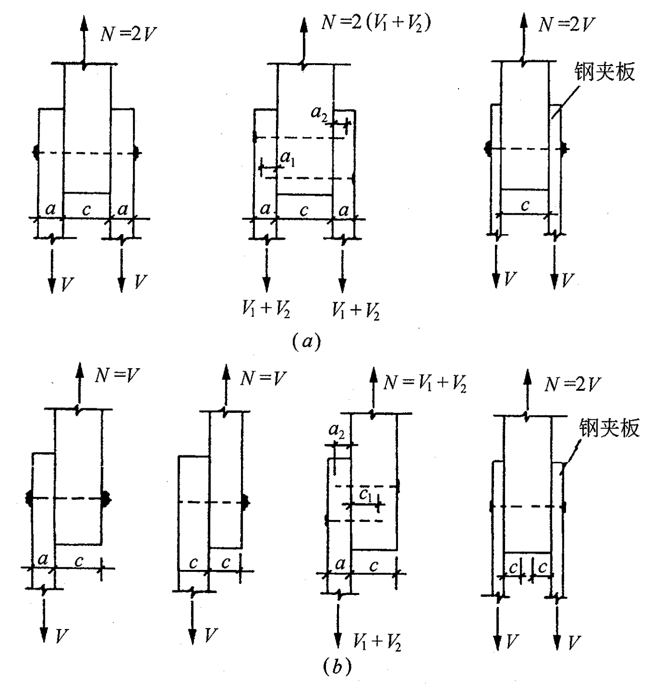


图 14-11　双剪连接和单剪连接（可用木夹板，也可用钢夹板）

（a）双剪连接；（b）单剪连接

第四节　木结构防火和防护

本节内容是按《木结构设计规范》GB 50005—2003（2005 年版）的相应内容编写。因《建筑设计防火规范》GB 50016—2014 第 11 章木结构建筑对防火的相关规定与《木结构规范》略有不同，请考生在复习的过程中加以关注。

一、木结构的防火

（一）建筑构件的燃烧性能和耐火极限

木结构建筑构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表 14-2 的规定。

木结构建筑中构件的燃烧性能和耐火极限　　表 14-2

构件名称	耐火极限（h）	构件名称	耐火极限（h）
防火墙	不燃烧体 3.00	梁	难燃烧体 1.00
承重墙、分户墙、楼梯和电梯井墙体	难燃烧体 1.00	楼盖	难燃烧体 1.00
非承重外墙、疏散走道两侧的隔墙	难燃烧体 1.00	屋顶承重构件	难燃烧体 1.00
分室隔墙	难燃烧体 0.50	疏散楼梯	难燃烧体 0.50
多层承重柱	难燃烧体 1.00	室内吊顶	难燃烧体 0.25
单层承重柱	难燃烧体 1.00		

注：1. 屋顶表层应采用不可燃材料；
2. 当同一座木结构建筑由不同高度组成，较低部分的屋顶承重构件必须是难燃烧体，耐火极限不应小于 1.00h。

（二）建筑的层数、长度和面积

木结构建筑不应超过三层。不同层数建筑最大允许长度和防火分区面积不应超过表 14-3的规定。

木结构建筑的层数、长度和面积　　表 14-3

层数	最大允许长度（m）	每层最大允许面积（m^2）
单层	100	1200
两层	80	900
三层	60	600

注：安装有自动喷水灭火系统的木结构建筑，每层楼最大允许长度、面积应允许在表 14-3 的基础上扩大一倍，局部设置时，应按局部面积计算。

（三）防火间距

1. 木结构建筑之间、木结构建筑与其他耐火等级的建筑之间的防火间距不应小于表 14-4 的规定。

木结构建筑的防火间距（m）　　表 14-4

建筑种类	一、二级建筑	三级建筑	木结构建筑	四级建筑
木结构建筑	8.00	9.00	10.00	11.00

注：防火间距应按相邻建筑外墙的最近距离计算，当外墙有突出的可燃构件时，应从突出部分的外缘算起。

2. 两座木结构建筑之间、木结构建筑与其他结构建筑之间的外墙均无任何门窗洞口时，其防火间距不应小于 4.00m。

3. 两座木结构之间、木结构建筑与其他耐火等级的建筑之间，外墙的门窗洞口面积

之和不超过该外墙面积的10%时，其防火间距不应小于表14-5的规定。

外墙开口率小于10 %时的防火间距（m） **表14-5**

建筑种类	一、二、三级建筑	木结构建筑	四级建筑
木结构建筑	5.00	6.00	7.00

（四）材料的燃烧性能

1. 木结构采用的建筑材料，其燃烧性能的技术指标应符合《建筑材料难燃性试验方法》（GB 8625）的规定。

2. 室内装修材料：房间内的墙面、吊顶、采光窗、地板等所采用的材料，其防火性能均应不低于难燃性 B_1 级。

3. 管道及包覆材料或内衬：

管道内的流体能够造成管道外壁温度达到120℃及其以上时，管道及其包覆材料或内衬以及施工时使用的胶黏剂必须是不燃材料。

外壁温度低于120℃的管道及其包覆材料或内衬，其防火性能应不低于难燃性 B_1 级。

4. 填允材料：建筑中的各种构件或空间需填充吸声、隔热、保温材料时，这些材料的防火性能应不低于难燃性 B_1 级。

（五）采暖通风

1. 木结构建筑内严禁设计使用明火采暖、明火生产作业等方面的设施。

2. 用于采暖或炊事的烟道、烟囱、火炕等应采用非金属不燃材料制作，并应符合下列规定：

（1）与木构件相邻部位的壁厚不小于240mm；

（2）与木结构之间的净距不小于120mm，且其周围具备良好的通风环境。

（六）天窗

由不同高度部分组成的一座木结构建筑，较低部分屋面上开设的天窗与相接的较高部分外墙上的门、窗、洞口之间最小距离不应小于5.00m，当符合下列情况之一时，其距离可不受限制。

1. 天窗安装了自动喷水灭火系统或为固定式乙级防火窗；

2. 外墙面上的门为遇火自动关闭的乙级防火门，窗口、洞口为固定式的乙级防火窗。

（七）密闭空间

木结构建筑中，下列存在密闭空间的部位应采取隔火措施：

1. 轻型木结构建筑，当层高小于或等于3m时，位于墙骨柱之间楼、屋盖的梁底部处；当层高大于3m时，位于墙骨柱之间沿墙高每隔3m处，及楼、屋盖的梁底部处；

2. 水平构件（包括屋盖，楼盖）和竖向构件（墙体）的连接处；

3. 楼梯上下第一步踏板与楼盖交接处。

二、木结构的防护

1. 木结构中的下列部位应采取防潮和通风措施：

（1）在桁架和大梁的支座下应设置防潮层。

（2）在木柱下应设置柱墩，严禁将木柱直接埋入土中。

（3）桁架、大梁的支座节点或其他承重木构件不得封闭在墙、保温层或通风不良的环

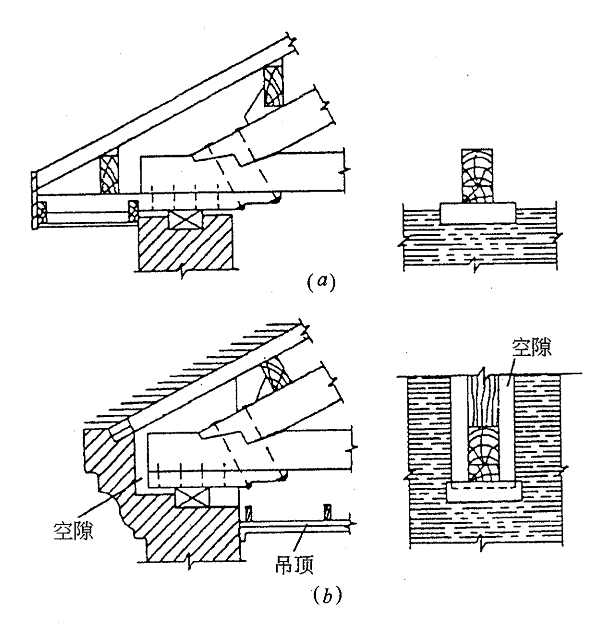


图 14-12　外排水屋盖支座节点通风构造示意图

境中（图 14-12 和图 14-13）。

（4）处于房屋隐蔽部分的木结构，应设通风孔洞。

（5）露天结构在构造上应避免任何部分有积水的可能，并应在构件之间留有空隙（连接部位除外）。

（6）当室内外温差很大时，房屋的围护结构（包括保温吊顶），应采取有效的保温和隔汽措施。

2. 木结构构造上的防腐、防虫措施，除应在设计图纸中加以说明外，尚应要求在施工的有关工序交接时，检查其施工质量，如发现在问题应立即纠正。

3. 下列情况，除从结构上采取通风防潮措施外，尚应进行药剂处理。

（1）露天结构；

（2）内排水桁架的支座节点处；

（3）檩条、搁栅、柱等木构件直接与砌体、混凝土接触部位；

（4）白蚁容易繁殖的潮湿环境中使用的木构件；

（5）承重结构中使用马尾松、云南松、湿地松、桦木以及新利用树种中易腐朽或易遭虫害的木材。

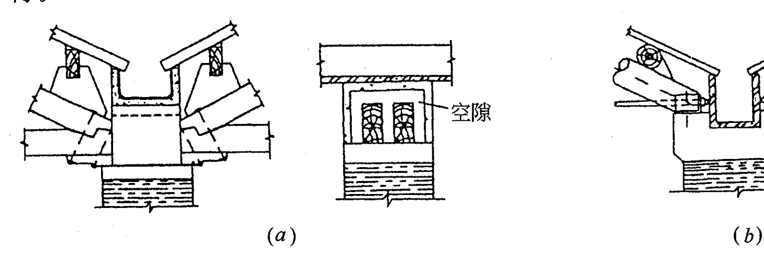


图 14-13　内排水屋盖支座节点通风构造示意图

4. 常用的药剂配方及处理方法，可按现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206 的规定采用。

注：①虫害主要指白蚁、长蠹虫、粉蠹虫及天牛等的蛀蚀。

②实践证明，沥青只能防潮，防腐效果很差，不宜单独使用。

5. 以防腐、防虫药剂处理木构件时，应按设计指定的药剂成分、配方及处理方法采用。受条件限制而需改变药剂或处理方法时，应征得设计单位同意。

在任何情况下，均不得使用未经鉴定合格的药剂。

6. 木构件（包括胶合木构件）的机械加工应在药剂处理前进行。木构件经防腐防虫处理后，应避免重新切割或钻孔。由于技术上的原因，确有必要作局部修整时，必须对木

材暴露的表面涂刷足够的同品牌药剂。

7. 木结构的防腐、防虫，采用药剂加压处理时，该药剂在木材中的保持量和透入度应达到设计文件规定的要求。设计未作规定时，则应符合现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206 规定的最低要求。

第五节　其　他

1. 承重结构用材，分为原木、锯材（方木、板材、规格材）和胶合材。用于普通木结构的原木、方木和板材的材质等级分为三级；胶合木构件的材质等级分为三级；轻型木结构用规格材分为目测分级规格材和机械分级规格材，目测分级规格材的材质等级分为七级；机械分级规格材按强度等级分为八级。

2. 普通木结构构件设计时，应根据构件的主要用途按表 14-6 的要求选用相应的材质等级。

普通木结构构件的材质等级　　**表 14-6**

项　次	主　要　用　途	材质等级
1	受拉或拉弯构件	I_a
2	受弯或压弯构件	II_a
3	受压构件及次要受弯构件（如吊顶小龙骨等）	III_a

3. 胶合木结构构件设计时，应根据构件的主要用途和部位，按表 14-7 的要求选用相应的材质等级。

胶合木结构构件的木材材质等级　　**表 14-7**

项次	主　要　用　途	材质等级	木材等级配置图
1	受拉或拉弯构件	I_b	
2	受压构件（不包括桁架上弦和拱）	III_b	
3	桁架上弦或拱，高度不大于 500mm 的胶合梁 （1）构件上、下边缘各 $0.1h$ 区域，且不少于两层板 （2）其余部分	 II_b III_b	
4	高度大于 500mm 的胶合梁 （1）梁的受拉边缘 $0.1h$ 区域，且不少于两层板 （2）距受拉边缘 $0.1\sim0.2h$ 区域 （3）受压边缘 $0.1h$ 区域，且不少于两层板 （4）其余部分	 I_b II_b II_b III_b	
5	侧立腹板工字梁 （1）受拉翼缘板 （2）受压翼缘板 （3）腹板	 I_b II_b III_b	

4. 当采用目测分级规格材设计轻型木结构构件时，应根据构件的用途按表 14-8 要求选用相应的材质等级。

目测分级规格材的材质等级 **表 14-8**

项次	主　要　用　途	材质等级
1	用于对强度、刚度和外观有较高要求的构件	Ⅰc
2		Ⅱc
3	用于对强度、刚度有较高要求而对外观只有一般要求的构件	Ⅲc
4	用于对强度、刚度有较高要求而对外观无要求的普通构件	Ⅳc
5	用于墙骨柱	Ⅴc
6	除上述用途外的构件	Ⅵc
7		Ⅶc

5. 承重结构用胶，应保证其胶合强度不低于木材顺纹抗剪和横纹抗拉的强度。胶连接的耐水性和耐久性，应与结构的用途和使用年限相适应，并应符合环境保护的要求。

6. 使用中有可能受潮的结构及重要的建筑物，应采用耐水胶；承重结构用胶，除应具有出厂质量证明文件外，产品使用前尚应按《木结构规范》附录 E 的规定检验其胶黏能力。

7. 受弯构件的计算挠度，应满足表 14-9 的挠度限值。

受弯构件挠度限值 **表 14-9**

项　次	构　件　类　别		挠度限值 [ω]
1	檩　条	$l \leqslant 3.3$m	1/200
		$l > 3.3$m	1/250
2	椽条		1/150
3	吊顶中的受弯构件		1/250
4	楼板梁和搁栅		1/250

注：l——受弯构件的计算跨度。

8. 验算桁架受压构件的稳定时，其计算长度 l_0 应按下列规定采用：

（1）平面内：取节点中心间距；

（2）平面外：屋架上弦取锚固檩条间的距离，腹杆取节点中心的距离；在杆系拱、框架及类似结构中的受压下弦，取侧向支撑点间的距离。

9. 受压构件的长细比，不应超过表 14-10 规定的长细比限值。

受压构件长细比限值 **表 14-10**

项　次	构　件　类　别	长细比限值 [λ]
1	结构的主要构件（包括桁架的弦杆、支座处的竖杆或斜杆以及承重柱等）	120
2	一般构件	150
3	支撑	200

10. 原木构件沿其长度的直径变化率，可按每米 9mm（或按当地经验数值）采用。

11. 木结构设计应符合下列要求：

（1）木材宜用于结构的受压或受弯构件，对于在干燥过程中容易翘裂的树种木材（如落叶松、云南松等），当用作桁架时，宜采用钢下弦；若采用木下弦，对于原木，其跨度不宜大于 15m，对于方木不应大于 12m，且应采取有效防止裂缝危害的措施；

（2）木屋盖宜采用外排水，若必须采用内排水时，不应采用木制天沟；

（3）必须采取通风和防潮措施，以防木材腐朽和虫蛀。

12. 杆系结构中的木构件，当有对称削弱时，其净截面面积不应小于构件毛截面面积的 50%；当有不对称削弱时，其净截面面积不应小于构件毛截面面积的 60%。

在受弯构件的受拉边，不得打孔或开设缺口。

13. 桁架的圆钢下弦、三角形桁架跨中竖向钢拉杆、受振动荷载影响的钢拉杆以及直径等于或大于 20mm 的钢拉杆和拉力螺栓，都必须采用双螺帽。

木结构的钢材部分，应有防锈措施。

14. 桁架中央高度与跨度之比，不应小于表 14-11 规定的数值。

桁架最小高跨比 **表 14-11**

序　号	桁　架　类　型	h/l
1	三角形木桁架	1/5
2	三角形钢木桁架；平行弦木桁架；弧形、多边形和梯形木桁架	1/6
3	弧形、多边形和梯形钢木桁架	1/7

注：h——桁架中央高度；
　　l——桁架跨度。

15. 桁架制作应按其跨度的 1/200 起拱。

16. 受拉下弦接头应保证轴心传递拉力，下弦接头不宜多于两个。接头每端的螺栓由计算确定，但不宜少于 6 个，且不应排成单行。当采用木夹板时，其厚度不应小于下弦宽度的 1/2；当桁架跨度较大时，木夹板厚度不宜小于 100mm；当采用钢夹板时，其厚度不应小于 6mm。

习　题

14-1　当采用原木、方木制作承重木结构构件时，木材含水率不应大于(　　)。

A　15%　　B　20%

C　25%　　D　30%

14-2　当木结构处于下列何种情况时，不能保证木材可以避免腐朽？(　　)

A　具有良好通风的环境　　B　含水率≤20%的环境

C　含水率在 40%～70%的环境　　D　长期浸泡在水中

14-3　木材的缺陷、疵病对下列哪种强度影响最大？(　　)

A　抗弯强度　　B　抗剪强度

C　抗压强度　　D　抗拉强度

14-4　木材的强度等级是指不同树种的木材按其下列何种强度设计值划分的等级？(　　)

A　抗剪　　B　抗弯

C　抗压　　D　抗拉

14-5　普通木结构，受弯或压弯构件对材质的最低等级要求为（　　）。

A　Ⅰ$_{a}$级　　　B　Ⅱ$_{a}$级

C　Ⅲ$_{a}$级　　　D　无要求

14-6　规范要求：木结构屋顶承重构件的燃烧性能和耐火极限不应低于下列哪项数值？（　　）

A　不燃烧体 3.00h　　　B　难燃烧体 1.00h

C　难燃烧体 0.50h　　　D　难燃烧体 0.25h

14-7　某临时仓库，跨度为 9m，采用三角形木桁架屋盖（如图），当 h 为何值时，符合规范规定的最小值？（　　）

A　$h=0.9$m

B　$h=1.125$m

C　$h=1.5$m

D　$h=1.8$m

题 14-7 图

14-8　下述各项原木构件的相关设计要求中，哪几项与规范相符?（　　）

Ⅰ. 验算挠度和稳定时，可取构件的中央截面；Ⅱ. 验算抗弯强度时，可取最大弯矩处的截面；Ⅲ. 标注原木直径时，以小头为准；Ⅳ. 标注原木直径时，以大头为准

A　Ⅰ、Ⅱ　　　B　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

C　Ⅱ、Ⅲ　　　D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ

14-9　木材强度等级代号（例如 TB15）后的数字，表示其（　　）强度设计值。

A　抗拉　　　B　抗压

C　抗弯　　　D　抗剪

14-10　轻型木结构中，用于对强度、刚度有较高要求而对外观只有一般要求的构件，其材质的最低等级要求为（　　）。

A　Ⅰ$_{c}$级　　　B　Ⅱ$_{c}$级

C　Ⅲ$_{c}$级　　　D　Ⅳ$_{c}$级

14-11　标注原木直径时，应以下列何项为准？（　　）

A　大头直径　　　B　中间直径

C　距大头 1/3 处直径　　　D　小头直径

14-12　关于承重木结构用胶的下列叙述，何项错误？（　　）

A　应保证胶合强度不低于木材顺纹抗剪强度

B　应保证胶合强度不低于横纹抗拉强度

C　应保证胶连接的耐水性和耐久性

D　当有出厂质量证明文件时，使用前可不再检验其胶结能力

14-13　当木桁架支座节点采用齿连接时，下列做法何项正确？（　　）

A　必须设置保险螺栓

B　双齿连接时，可采用一个保险螺栓

C　考虑保险螺栓与齿共同工作

D　保险螺栓应与下弦杆垂直

14-14　关于承重木结构使用条件的叙述，下列何项不正确？（　　）

A　宜在正常温度环境下的房屋结构中使用

B　宜在正常湿度环境下的房屋结构中使用

C　未经防火处理的木结构不应用于极易引起火灾的建筑中

D　不应用于经常受潮且不易通风的场所

14-15　木结构设计规范规定："木结构建筑不应超过三层"，其主要依据为下列何项？（　　）

A　木结构的承载能力　　　　B　木结构的耐久性能

C　木结构的耐火性能　　　　D　木结构的抗震性能

参 考 答 案

14-1　C　　14-2　C　　14-3　D　　14-4　B　　14-5　B　　14-6　B

14-7　D　　14-8　B　　14-9　C　　14-10　C　　14-11　D　　14-12　D

14-13　A　　14-14　D　　14-15　C

第十五章　建筑抗震设计基本知识

第一节　概　　述

一、名词术语含义

（一）地震（earthquake）。是指大地震动，包括天然地震（构造地震、火山地震、陷落地震）、诱发地震（矿山采掘活动、水库蓄水等引发的地震）和人工地震（爆破、核爆炸、物体坠落等产生的地震）。

一般指天然地震中的构造地震；震源是指产生地震的源；震中是震源在地面上的投影；震源深度是震源与震中的距离；浅源地震是震源深度小于 60km 的地震；中源地震是震源深度在 60～300km 范围内的地震；深源地震是震源深度大于 300km 的地震。

（二）震级。是对地震大小的量度。有地方性震级、体波震级、面波震级、矩震级（用地震矩换算的震级），表示符号均不相同，但对外发布的震级应用 M 表示，不应加"里氏震级"、"矩震级"等附加信息。地震按震级大小的划分，大致如下：

1. 弱震（$M<3$）。如果震源不是很浅，这种地震人们一般不易觉察。

2. 有感地震（$3\leqslant M\leqslant 4.5$）。这种地震人们能够感觉到，但一般不会造成破坏。

3. 中强震（$4.5<M<6$）。属于可造成损坏或破坏的地震，但破坏轻重还与震源深度、震中距等多种因素有关。

4. 强震（$M\geqslant 6$）。是能造成严重破坏的地震，其中 $M\geqslant 8$ 又称为巨大地震。

（三）地震烈度。指地震时某一地区地面和各类建筑物遭受一次地震影响的强弱程度。《中国地震烈度表》采用 12 度划分地震烈度。

（四）多遇地震烈度。设计基准期 50 年内，超越概率为 63.2%的地震烈度。

（五）基本烈度。指中国地震烈度区划图标明的地震烈度。1990 年颁布的地震烈度区划图标明的基本烈度为 50 年期限内，一般场地条件下，可能遭遇超越概率为 10%的地震烈度。

（六）罕遇地震烈度。设计基准期内，超越概率为 2%～3%的地震烈度。

（七）抗震设防烈度。必须按国家规定的权限审批、颁发的文件（图件）确定。一般情况下，建筑的抗震设防烈度应采用根据中国地震动参数区划图确定的地震基本烈度［《建筑抗震设计规范》（以下简称《抗震规范》）设计基本地震加速度值所对应的烈度值］。

（八）地震作用。地震作用是地震动引起的结构动态作用，包括水平地震作用和竖向地震作用。地震作用不是直接的外力作用，而是结构在地震时的动力反应，是一种间接作用，过去曾称为地震荷载，它与重力荷载的性质是不同的。地震作用的大小与地震动的性质和工程结构的动力特性有关。

（九）超越概率。一定地区范围和时间范围内，发生的地震烈度超过给定地震烈度的概率。

（十）抗震设防标准。衡量抗震设防要求高低的尺度，由抗震设防烈度或设计地震动参数及建筑抗震设防类别确定。

（十一）设计地震动参数。抗震设计用的地震加速度（速度、位移）时程曲线、加速度反应谱和峰值加速度。

（十二）设计基本地震加速度。50 年设计基准期超越概率 10%的地震加速度的设计取值。

（十三）建筑抗震概念设计。根据地震灾害和工程经验等所形成的基本设计原则和设计思想，进行建筑和结构总体布置并确定细部构造的过程。

（十四）抗震措施。除地震作用计算和抗力计算以外的抗震设计内容，包括抗震构造措施。

（十五）抗震构造措施。根据抗震概念设计原则，一般不需计算而对结构和非结构各部分必须采取的各种细部要求。

二、建筑抗震设防分类和设防标准

确定抗震设防类别是建筑抗震设计的主要内容。确定具体项目的抗震设防类别，关系到地震作用的取值和抗震措施的确定，是抗震设计的依据性指标。

抗震设防的所有建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 确定其抗震设防类别及其抗震设防标准。

（一）建筑物抗震设防类别

建筑工程应分为以下四个抗震设防类别：

1. 特殊设防类：指使用上有特殊设施，涉及国家公共安全的重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害等特别重大灾害后果，需要进行特殊设防的建筑。简称甲类。

2. 重点设防类：指地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的生命线相关建筑，以及地震时可能导致大量人员伤亡等重大灾害后果，需要提高设防标准的建筑。简称乙类。

3. 标准设防类：指大量的除 1、2、4 款以外按标准要求进行设防的建筑。简称丙类。

4. 适度设防类：指使用上人员稀少且震损不致产生次生灾害，允许在一定条件下适度降低要求的建筑。简称丁类。

（二）抗震设防标准

各抗震设防类别建筑的抗震设防标准，应符合下列要求：

1. 特殊设防类（甲类），应按高于本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施；但抗震设防烈度为 9 度时应按比 9 度更高的要求采取抗震措施。同时，应按批准的地震安全性评价的结果且高于本地区抗震设防烈度的要求确定其地震作用。

2. 重点设防类（乙类），应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施；但抗震设防烈度为 9 度时应按比 9 度更高的要求采取抗震措施；地基基础的抗震措施，应符合有关规定。同时，应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用。

3. 标准设防类（丙类），应按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施和地震作用，达到在遭遇高于当地抗震设防烈度的预估罕遇地震影响时不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏的抗震设防目标。

4. 适度设防类（丁类），允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低其抗震措施，但抗震设防烈度为 6 度时不应降低。一般情况下，仍应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用。

5. 抗震设防烈度为 6 度时，除《抗震规范》有具体规定外，对乙、丙、丁类建筑可不进行地震作用计算。

注：对于划为重点设防类而规模很小的工业建筑，当改用抗震性能较好的材料且符合抗震设计规范对结构体系的要求时，允许按标准设防类设防。

（三）抗震设防目标

1. “三水准的设防目标”——所有进行抗震设计的建筑都必须实现的目标

抗震设计要达到的目标是在建筑受到不同强度的地震时，要求建筑具有不同的抵抗能力，对一般较小的地震，发生的可能性大，故又称多遇地震，这时要求结构不受损坏，在技术上和经济上都可以做到。而对于罕遇的强烈地震，地震作用大但发生的可能性小，在此强震作用下要保证结构完全不损坏，技术难度大，经济投入也大，是不合算的；这时允许有所损坏，但不倒塌，则将是经济合理的。

2. **“三个水准”的抗震设防目标**

一般情况下（不是所有情况下）。

第一水准：遭遇众值烈度（多遇地震）影响时，建筑处于正常使用状态，从结构抗震分析角度，可以视为弹性体系，采用弹性反应谱进行弹性分析；

第二水准：遭遇基本烈度（设防地震）影响时，结构进入非弹性工作阶段，但非弹性变形或结构体系的损坏控制在可修复的范围；

第三水准：遭遇最大预估烈度（罕遇地震）影响时，结构有较大的非弹性变形，但应控制在规定的范围内，以免倒塌。

通常将其概括为：“小震不坏，中震（设防地震）可修、大震不倒”。

三水准的地震作用及不同超越概率（或重现期）的建筑结构特性见表 15-1。

三水准的地震作用及不同超越概率（或重现期）　　表 15-1

水准	烈　度	50 年超越概率	重现期	建筑结构特性
第一水准	多遇地震（小震），比设防烈度地震约低一度半	63%	50 年	建筑处于正常使用状态，可视为弹性体系
第二水准	设防地震（基本烈度地震）或中国地震动参数区划图规定的峰值加速度所对应的烈度	10%	475 年	结构进入非弹性工作阶段，但非弹性变形或结构体系的损坏控制在可修复的范围
第三水准	罕遇地震（大震），当基本烈度为 6 度时为 7 度强，7 度时为 8 度强，8 度时为 8 度弱，9 度时为 9 度强	2%～3%	1641～2475 年	结构有较大的非弹性变形，但应控制在规定的范围内，以免倒塌

3. 各水准的建筑性能要求

“小震不坏”——要求建筑结构在多遇地震作用下满足承载力极限状态的要求且建筑的弹性变形不超过规定的限值；即保障人的生活、生产、经济和社会活动的正常进行。

"中震可修"——要求建筑结构具有相当的变形能力，不发生不可修复的脆性破坏，用结构的延性设计（满足抗震措施和抗震构造措施）来实现；即保障人身安全和减小经济损失。

"大震不倒"——满足建筑有足够的变形能力，其塑性变形不超过规定的限值；即避免倒塌，以保障人身安全。

4. 在抗震设计时，为满足上述三水准的目标应采用两个阶段设计法，见表 15-2。

两阶段设计实现三水准目标　　表 15-2

设计阶段	设计内容	设计步骤和三水准目标	适用的结构
第一阶段设计	承载力验算	1. 取第一水准的地震动参数计算结构的弹性地震作用标准值和相应的地震作用效应； 2. 采用分项系数设计表达式进行结构构件的承载力抗震验算； 3. 通过概念设计和抗震构造措施来满足第三水准（罕遇地震）的设计要求	适用于大多数结构（如规则结构及一般不规则结构）
第二阶段设计	弹塑性变形验算	1. 结构薄弱部位的弹塑性层间变形验算； 2. 相应的抗震构造措施来实现第三水准（罕遇地震）的设防要求	1. 对地震时易倒塌的结构； 2. 有明显薄弱层的不规则结构； 3. 有专门要求的建筑

上面提到的小震、中震（设防地震）和大震之间的数值关系为：小震比中震（设防烈度地震）低 1.5 度；大震比中震（设防烈度地震）高 1 度左右。

（四）地震影响

1. 建筑所在地区遭受地震的影响，应采用相应于抗震设防烈度的设计基本地震加速度和特征周期来加以表征（表 15-3）。

抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系　　表 15-3

抗震设防烈度	6	7	8	9
设计基本地震加速度值	$0.05g$	$0.10(0.15)g$	$0.20(0.30)g$	$0.40g$

注：g 为重力加速度。

现规范以地震加速度划分烈度，而不再依据破坏程度确定。《抗震规范》明确将设计基本地震加速度为 $0.15g$ 和 $0.30g$ 的地区仍归类为 7 度和 8 度，主要考虑现行规范的抗震构造措施均以烈度划分，没有专门针对 $0.15g$ 和 $0.30g$ 地区的抗震构造措施。

2. 地震影响的特征周期应根据建筑所在地的设计地震分组和场地类别确定。特征周期值是计算地震作用的重要参数，它反映了震级、震中距及场地特性的影响，采用设计地震分组法。

【要点】

◆《抗震规范》适用于抗震烈度为 6～9 度地区建筑工程的抗震设计及隔震、消能减震设计。

◆ 建筑抗震设计包括：地震作用、抗震承载力计算和采取抗震构造措施以达到抗震效果。抗震设计首先要确定设防烈度，一般取基本烈度。

◆ 抗震措施指：除地震作用计算和抗力计算以外的抗震设计内容，包括抗震构造措施。混凝土结构的抗震措施依据抗震设防烈度和抗震等级确定。

◆《抗震规范》对设计基本加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区仍归类为 7 度和 8 度。规范在确定场地类别时采用设计地震分组法，基本上反映了近震、中震和远震的影响。建筑工程的设计地震分为三组：第一组、第二组、第三组。

例 15-1 (12-90) 为体现建筑所在区域震级和震中距的影响，我国对建筑工程设计地震进行了分组，按其对地震作用影响由轻到重排序，正确的是：

A 第一组、第二组、第三组、第四组

B 第四组、第三组、第二组、第一组

C 第一组、第二组、第三组

D 第三组、第二组、第一组

提示： 2001 年规范将 89 规范的设计近震、远震改称设计地震分组，以更好地体现震级和震中距的影响，建筑工程的设计地震分为三组。

如Ⅱ类场地，第一组、第二组和第三组的设计特征周期，应分别按 0.35s、0.40s 和 0.45s 采用，见表 15-4。对地震作用的影响由轻到重排序为第一组、第二组、第三组。

特征周期值 (s) **表 15-4**

设计地震分组	场地类别				
	I_0	I_1	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

答案： C

规范：《抗震规范》第 3.2.3 条及条文说明 3.2 条、第 5.1.4 条表 5.1.4-2、第 5.1.5-1 条文说明。

注：“设计特征周期”即设计所用的地震影响系数相对应的特征周期 (T_g)。

例 15-2 (10-106)“按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施和地震作用，在遭遇高于当地抗震设防烈度的预估罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏。”适用于下列哪一种抗震设防类别？

A 特殊设防类（甲类） B 重点设防类（乙类）

C 标准设防类（丙类） D 适度设防类（丁类）

提示： 标准设防类（丙类）是指按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施和地震作用，在遭遇高于当地抗震设防烈度的预估罕遇地震影响时不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏的抗震设防目标。大部分建筑为标准设防类（丙类）。

答案： C

规范：《抗震规范》第 3.1.1 条及《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008) 第 3.0.2 条、第 3.0.3 条第 1 款。

三、抗震设计的基本要求

(一) 选择对抗震有利的场地、地基和基础

1. 选择建筑场地时，应根据工程需要和地震活动情况、工程地质和地震地质的有关资料，对抗震有利、一般、不利和危险地段做出综合评价。应选择有利地段，避开不利地段；当无法避开不利地段时，应采取有效措施。对危险地段，严禁建造甲、乙类的建筑，不应建造丙类的建筑。

对建筑抗震有利、一般、不利和危险地段的划分标准见表 15-5。

有利、一般、不利和危险地段的划分标准　　表 15-5

地段类别	地质、地形、地貌
有利地段	稳定基岩，坚硬土，开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等
一般地段	不属于有利、不利和危险的地段
不利地段	软弱土，液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，陡坡，陡坎，河岸和边坡的边缘，平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层（含故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基），高含水量的可塑黄土，地表存在结构性裂缝等
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表位错的部位

2. 地基和基础设计应符合下列要求：

(1) 同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同的地基上。

(2) 同一结构单元不宜部分采用天然地基部分采用桩基；当采用不同基础类型或基础埋深显著不同时，应根据地震时两部分地基基础的沉降差异，在基础、上部结构的相关部位采取相应措施。

(3) 地基为软弱黏性土、液化土、新近填土或严重不均匀土时，应根据地震时地基不均匀沉降和其他不利影响，采取相应的措施。

(二) 建筑形体及其构件布置的规则性

1. 建筑设计应根据抗震概念设计的要求明确建筑形体的规则性。不规则的建筑应按规定采取加强措施；特别不规则的建筑应进行专门研究和论证，采取特别的加强措施；严重不规则的建筑不应采用。

注：形体指建筑平面形状和立面、竖向剖面的变化。

2. 建筑设计应重视其平面、立面和竖向剖面的规则性对抗震性能及经济合理性的影响，宜择优选用规则的形体，其抗侧力构件的平面布置宜规则对称、侧向刚度沿竖向宜均匀变化、竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小、避免侧向刚度和承载力突变。

3. 建筑形体及其构件布置的平面、竖向不规则性，应按下列要求划分：

(1) 混凝土房屋、钢结构房屋和钢-混凝土混合结构房屋存在表 15-6 所列举的某项平面不规则类型或表 15-7 所列举的某项竖向不规则类型以及类似的不规则类型，应属于不规则的建筑。

平面不规则的主要类型 **表 15-6**

不规则类型	定义和参考指标
扭转不规则	在具有偶然偏心的水平力作用下，楼层两端抗侧力构件弹性水平位移（或层间位移）的最大值与平均值的比值大于 1.2
凹凸不规则	平面凹进的尺寸，大于相应投影方向总尺寸的 30%
楼板局部不连续	楼板的尺寸和平面刚度急剧变化，例如，有效楼板宽度小于该楼层板典型宽度的 50%，或开洞面积大于该层楼面面积的 30%，或较大的楼层错层

竖向不规则的主要类型 **表 15-7**

不规则类型	定义和参考指标
侧向刚度不规则	该层的侧向刚度小于相邻上一层的 70%，或小于其上相邻三个楼层侧向刚度平均值的 80%；除顶层或出屋面小建筑外，局部收进的水平向尺寸大于相邻下一层的 25%
竖向抗侧力构件不连续	竖向抗侧力构件（柱、抗震墙、抗震支撑）的内力由水平转换构件（梁、桁架等）向下传递
楼层承载力突变	抗侧力结构的层间受剪承载力小于相邻上一楼层的 80%

图 15-1～图 15-3 为典型示例，以便理解表 15-6 中所列的不规则类型。

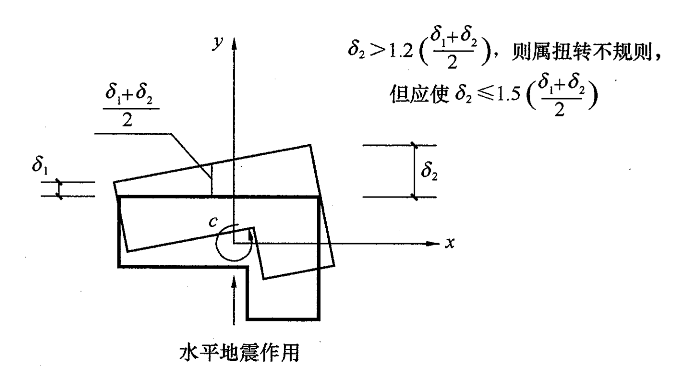


图 15-1　建筑结构平面的扭转不规则示例

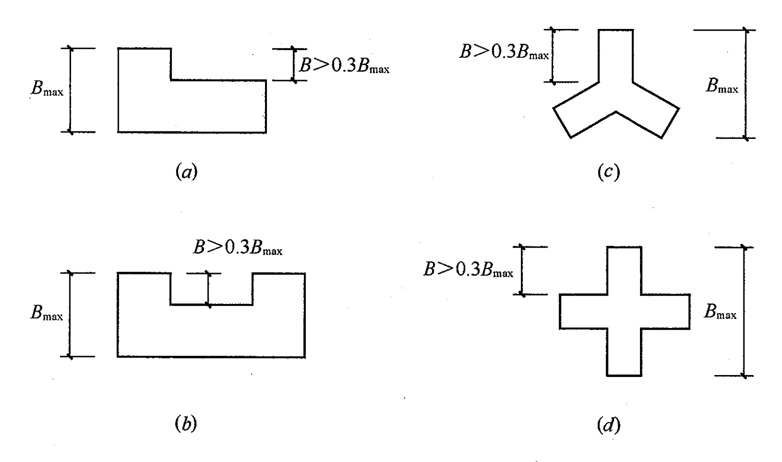


图 15-2　建筑结构平面的凸角或凹角不规则示例

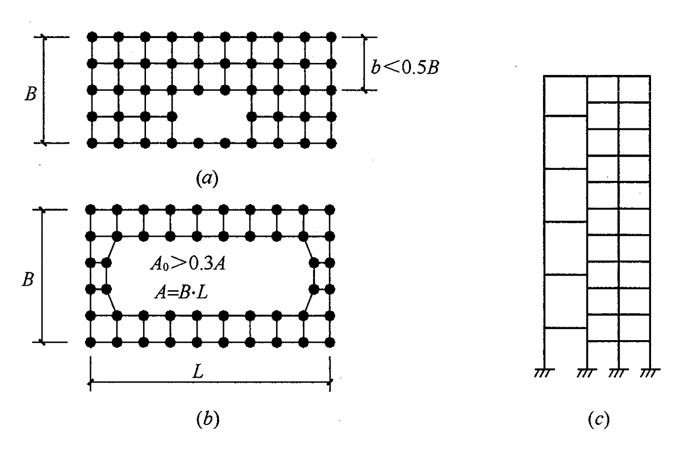


图 15-3　建筑结构平面的局部不连续示例（大开洞及错层）

图 15-4～图 15-6 为典型示例，以便理解表 15-7 中所列的不规则类型。

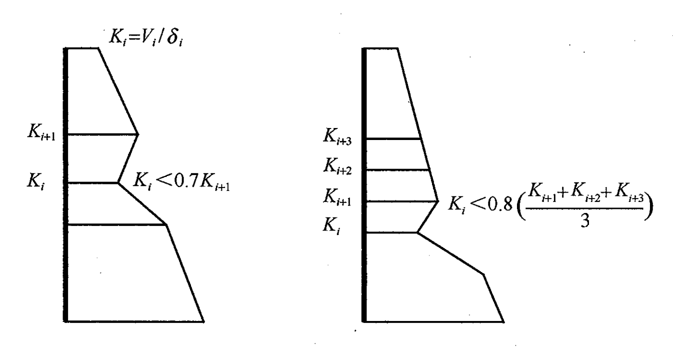


图 15-4　沿竖向的侧向刚度不规则（有软弱层）

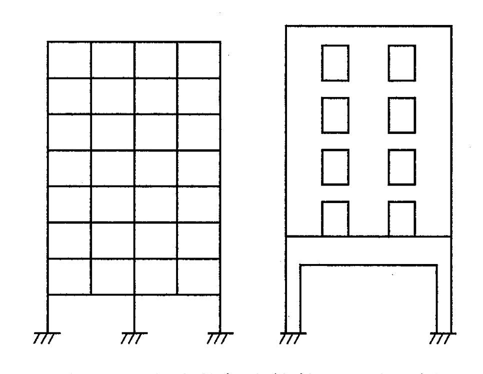


图 15-5　竖向抗侧力构件不连续示例

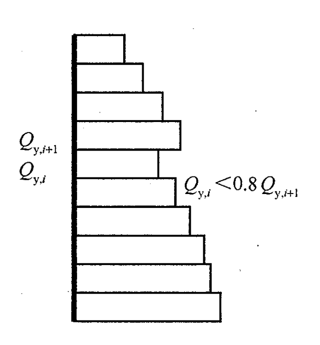


图 15-6　竖向抗侧力结构屈服抗剪强度非均匀化（有薄弱层）

（2）砌体房屋、单层工业厂房、单层空旷房屋、大跨屋盖建筑和地下建筑的平面和竖向不规则性的划分，应符合抗震规范有关章节的规定。

（3）当存在多项不规则或某项不规则超过规定的参考指标较多时，应属于特别不规则的建筑，见表 15-8。

特别不规则的项目举例 **表 15-8**

序号	不规则类型	简要涵义
1	扭转偏大	裙房以上有较多楼层考虑偶然偏心的扭转位移比大于 1.4
2	抗扭刚度弱	扭转周期比大于 0.9，混合结构扭转周期比大于 0.85
3	层刚度偏小	本层侧向刚度小于相邻上层的 50%
4	高位转换	框支墙体的转换构件位置：7 度超过 5 层，8 度超过 3 层
5	厚板转换	7～9 度设防的厚板转换结构
6	塔楼偏置	单塔或多塔合质心与大底盘的质心偏心距大于底盘相应边长 20%
7	复杂连接	各部分层数、刚度、布置不同的错层或连体两端塔楼显著不规则的结构
8	多重复杂	同时具有转换层、加强层、错层、连体和多塔类型中的 2 种以上

4. 体形复杂、平立面不规则的建筑，应根据不规则程度、地基基础条件和技术经济等因素的比较分析，确定是否设置防震缝，并分别符合下列要求：

（1）当不设置防震缝时，应采用符合实际的计算模型，分析判明其应力集中、变形集中或地震扭转效应等导致的易损部位，采取相应的加强措施。

（2）当在适当部位设置防震缝时，宜形成多个较规则的抗侧力结构单元。防震缝应根据抗震设防烈度、结构材料种类、结构类型、结构单元的高度和高差以及可能的地震扭转效应的情况，留有足够的宽度，其两侧的上部结构应完全分开。

（3）当设置伸缩缝和沉降缝时，其宽度应符合防震缝的要求。

注：《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010（以下简称《高层混凝土规程》）规定，结构平面布置应符合下列要求：

①高层建筑（10 层及 10 层以上）的平面宜简单、规则、对称、减少偏心；

②高层建筑的平面长度 L 不宜过长，突出部分长度 l 不宜过大；L、l 等值宜满足图 15-7 及表 15-9 的要求；

③建筑平面不宜采用图 15-8 所示角部重叠或细腰形平面布置。

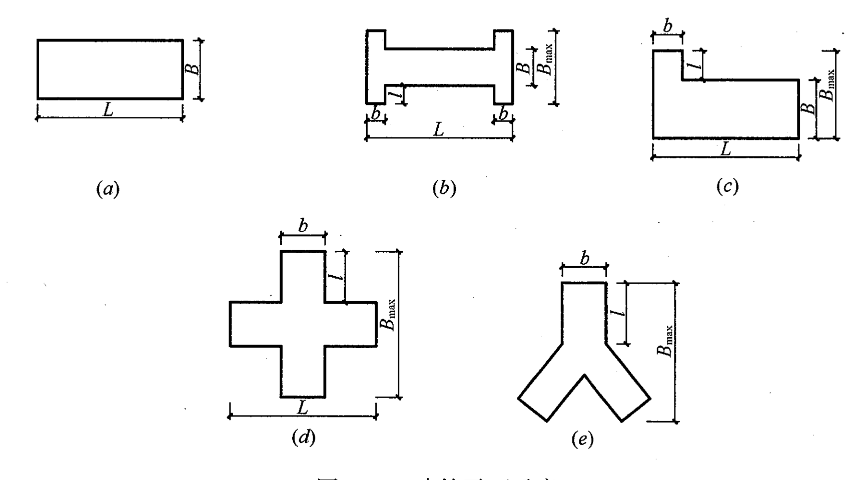


图 15-7 建筑平面示意

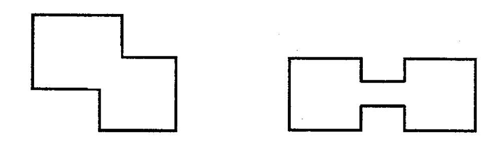


图 15-8　角部重叠和细腰形平面示意

平面尺寸及突出部位尺寸的比值限值　　　　表 15-9

设防烈度	L/B	l/B_{max}	l/b
6、7 度	≤6.0	≤0.35	≤2.0
8、9 度	≤5.0	≤0.30	≤1.5

注：1. 高层建筑当结构上部楼层收进部位到室外地面的高度 H_1 与房屋高度 H 之比大于 0.2 时，上部楼层收进后的水平尺寸 B_1 不宜小于下部楼层水平尺寸 B 的 0.75 倍[图 15-9(*a*)、(*b*)]；

2. 当上部结构楼层相对于下部楼层外挑时，上部楼层水平尺寸 B_1 不宜大于下部楼层水平尺寸 B 的 1.1 倍，且水平外挑尺寸 a 不宜大于 4m[图 15-9(*c*)、(*d*)]。

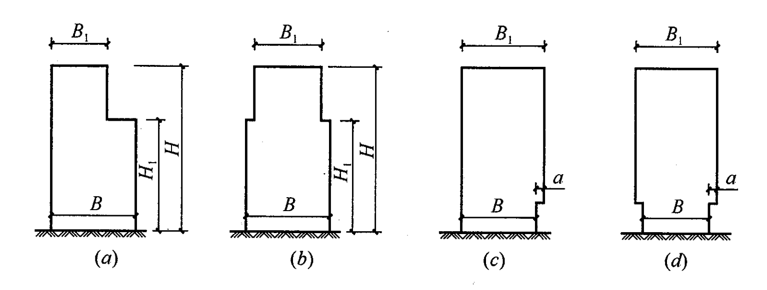


图 15-9　结构竖向收进和外挑示意

【要点】

◆ 合理的建筑形体和布置在抗震设计中是头等重要的。提倡平、立面简单对称。“规则”包含了对建筑布置（建筑平、立面外形尺寸）和结构布置（结构构件布置、质量分布、承载力分布）两个方面内容。

◆ 一般情况下，可设缝、可不设防震缝时，尽量不设缝。当不设防震缝时，连接处局部应力集中，需要采取加强措施。必须设置时，应有足够的宽度。防震缝两侧结构体系不同时，防震缝的宽度应按不利的（对防震缝的宽度要求更大的）结构类型确定。

例 15-3　(09-104) 超高层建筑平面布置宜：

A　简单，长宽比一般大于 6∶1

B　简单、规则、对称、减少偏心

C　对称，局部伸出部分大于宽度的 1/3

D　主导风方向加强刚度

提示： 对 B 级高度钢筋混凝土高层建筑（包括超高层）、混合结构高层建筑及复杂高层建筑结构，其平面布置宜简单、规则、减少偏心。

答案： B

例 15-4 （10-119） 下列关于建筑设计的相关论述，哪项不正确？

A 建筑及其抗侧力结构的平面布置宜规则、对称，并应具有良好的整体性

B 建筑的立面和竖向剖面宜规则，结构的侧向刚度宜均匀变化

C 为避免抗侧力结构的侧向刚度及承载力突变，竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度可自上而下逐渐减小

D 对不规则结构，除按规定进行水平地震作用计算和内力调整外，对薄弱部位还应采取有效的抗震构造措施

提示： 竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小，避免侧向刚度和承载力突变。

答案： C

规范：《抗震规范》第 3.4.2 及 3.6.2 条。

（三）结构体系

结构体系就是抗震设计所采用的、主要功能为承担侧向地震作用、由不同材料组成的不同结构形式的统称。

1. 结构体系应根据建筑的抗震设防类别、抗震设防烈度、建筑高度、场地条件、地基、结构材料和施工等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定。

2. 结构体系应符合下列各项要求：

(1) 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径。

(2) 应避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构丧失抗震能力或对重力荷载的承载能力。

(3) 应具备必要的抗震承载力，良好的变形能力和消耗地震能量的能力。

(4) 对可能出现的薄弱部位，应采取措施提高抗震能力。

3. 结构体系尚宜符合下列各项要求：

(1) 宜有多道抗震防线；

(2) 宜具有合理的刚度和承载力分布，避免因局部削弱或突变形成薄弱部位，产生过大的应力集中或塑性变形集中；

(3) 结构在两个主轴方向的动力特性宜相近。

4. 结构构件应符合下列要求：

(1) 砌体结构应按规定设置钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱，或采用约束砌体、配筋砌体等。

(2) 混凝土结构构件应控制截面尺寸和受力钢筋、箍筋的设置；防止剪切破坏先于弯曲破坏，混凝土的压溃先于钢筋的屈服，钢筋的锚固粘结破坏先于构件破坏。

(3) 预应力混凝土构件，应配有足够的非预应力钢筋。

(4) 钢结构构件的尺寸应合理控制，应避免局部失稳或整个构件失稳。

(5) 多、高层的混凝土楼、屋盖宜优先采用现浇混凝土板。当采用预制装配式混凝土楼、屋盖时，应从楼盖体系和构造上采取措施确保各预制板之间连接的整体性。

5. 结构各构件之间的连接，应符合下列要求：

(1) 构件节点的破坏，不应先于其连接的构件。

(2) 预埋件的锚固破坏，不应先于连接件。

（3）装配式结构构件的连接，应能保证结构的整体性。

（4）预应力混凝土构件的预应力钢筋，宜在节点核心区以外锚固。

6. 装配式单层厂房的各种抗震支撑系统，应保证地震时厂房的整体性和稳定性。

【要点】

◆ 抗震结构体系要求受力明确、传力途径合理且传力路线不间断，使结构的抗震分析更符合结构在地震时的实际表现，是结构选型与布置结构抗侧力体系时首先考虑的因素之一。

◆ 结构体系应具备必要的抗震承载力，是指结构在地震作用下具有足够的承载能力；具有良好的延性（即变形能力和耗能能力），指结构具有足够的抗变形能力，结构的变形不致引起结构功能丧失或超越容许破坏的程度；良好的消耗地震能量的能力是指结构能吸收和消耗地震能而保存下来的能力，即良好的延性。

◆ 抗震结构体系中吸收和消耗地震输入能的各个部分称为抗震防线。抗震房屋必须设置多道防线。

◆ 结构两个主轴方向的动力特性（周期和振型）宜相近，如对有些纵横墙、长宽比较大的长矩形平面，强调两个主轴方向的均衡，避免因某一个方向先破坏而导致整体倒塌。

◆ 结构体系由不同结构构件组成，结构构件的抗震性能是保证整个结构抗震设计的基础。规范对各种不同材料的结构构件提出了改善其变形能力的原则和途径，应理解并掌握，是重要的出题点：

—无筋砌体本身是脆性材料，只能利用约束条件（圈梁、构造柱、组合柱等来分割、包围）使砌体发生裂缝后不致崩塌和散落，地震时不致丧失对重力荷载的承载能力。

—钢筋混凝土构件的抗震性能与砌体相比是更好的，但处理不当也会造成不可修复的脆性破坏，如：混凝土压碎、构件剪切破坏、钢筋锚固部分拉脱（粘结破坏）等。混凝土结构构件的尺寸控制，包括轴压比、截面长宽比、墙体高厚比、宽厚比等。

—对预应力混凝土结构构件的要求是应配置足够的非预应力钢筋，以利于改善预应力混凝土结构的抗震性能。

—钢结构房屋的延性好，但钢结构构件的压屈破坏（杆件失去稳定）或局部失稳也是一种脆性破坏，应予以防止。

—推荐采用现浇楼、屋盖，对装配式楼、屋盖需加强整体性。

例 15-5 （12-85）关于混凝土结构的设计方案，下列说法错误的是：

A 应选用合理的结构体系、构件形式，并做合理的布置

B 结构的平、立面布置宜规则，各部分的质量和刚度宜均匀、连续

C 宜采用静定结构，结构传力途径应简捷、明确，竖向构件宜连续贯通、对齐

D 宜采取减小偶然作用影响的措施

提示：混凝土结构的设计方案宜**采用超静定结构**，重要构件和关键部位应增加冗余约束或有多余传力途径，以保证结构有多道抗震防线，不致因局部结构或构件破坏而使结构变成机动体系，导致整个结构丧失抗震能力或对重力荷载的承载能力。

答案：C

规范：《抗震规范》第 3.5.3 条第 1 款；《混凝土结构设计规范》第 3.2.1 条第 4 款、第 3.5.2 条。

例 15-6 (11-92) 下列关于钢筋混凝土结构构件应符合的力学要求中，何项错误？

A 弯曲破坏先于剪切破坏

B 钢筋屈服先于混凝土压溃

C 钢筋的锚固粘结破坏先于构件破坏

D 应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态设计

提示：钢筋混凝土结构构件设计应避免脆性破坏，具体要求：弯曲破坏先于剪切破坏；钢筋屈服先于混凝土压坏；钢筋的锚固粘结破坏晚于构件破坏。

答案：C

规范：《抗震规范》第 3.5.5 条。

（四）非结构构件

1. 非结构构件，是指与结构相连的建筑构件、机电部件及其系统。包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备，自身及其与结构主体的连接，应进行抗震设计。

2. 非结构构件的抗震设计，应由相关专业人员分别负责进行。

3. 附着于楼、屋面结构上的非结构构件，以及楼梯间的非承重墙体，应与主体结构有可靠的连接或锚固，避免地震时倒塌伤人或砸坏重要设备。

4. 框架结构的围护墙和隔墙，应估计其设置对结构抗震的不利影响，避免不合理设置而导致主体结构的破坏。

5. 幕墙、装饰贴面与主体结构应有可靠连接，避免地震时脱落伤人。

6. 安装在建筑上的附属机械、电气设备系统的支座和连接，应符合地震时使用功能的要求，且不应导致相关部件的损坏。

【要点】

◆ 非结构构件一般指不考虑承受重力荷载、风荷载及地震作用的构件，包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备的支架等。非结构构件的地震破坏会影响安全和使用功能，需引起重视，应进行抗震设计。

◆ 处理好建筑非结构构件和主体结构的关系，关键是两者的连接和锚固问题：

—附属结构构件，如：女儿墙、高低跨封墙、雨篷等的防倒塌问题，主要采取加强自身的整体性及与主体结构的锚固等抗震措施；

—装饰物，如：贴面、顶棚、悬吊重物等的防脱落及装饰物破坏问题，主要采取加强与主体结构的可靠连接，对重要装饰物采用柔性连接等抗震措施；

—围护墙和隔墙、砌体填充墙与框架等与主体结构的连接，影响整个结构的动力性能和抗震能力，建议两者之间采用柔性连接或彼此脱开，可只考虑填充墙的重量而不计其刚度和强度的影响。

（五）隔震与消能减震设计

1. 隔震与消能减震设计，可用于对抗震安全性和使用功能有较高要求或专门要求的建筑。

2. 采用隔震或消能减震设计的建筑，当遭遇到本地区的多遇地震影响、设防地震影响和罕遇地震影响时，可按高于《抗震规范》第 1.0.1 条的基本设防目标进行设计。

（六）结构材料与施工

抗震结构在材料选用、施工顺序，特别是材料代用上有其特殊的要求，主要指减少材料的脆性和贯彻原设计意图，也是重要的考试出题点。

1. 抗震结构对材料和施工质量的特别要求，应在设计文件上注明。

2. 结构材料性能指标，应符合下列最低要求：

(1) 砌体结构材料应符合下列规定：

1) 普通砖和多孔砖的强度等级不应低于 MU10，其砌筑砂浆强度等级不应低于 M5；

2) 混凝土小型空心砌块的强度等级不应低于 MU7.5，其砌筑砂浆强度等级不应低于 Mb7.5。

(2) 混凝土结构材料应符合下列规定：

1) 混凝土的强度等级，框支梁、框支柱及抗震等级为一级的框架梁、柱、节点核芯区，不应低于 C30；构造柱、芯柱、圈梁及其他各类构件不应低于 C20；

2) 抗震等级为一、二、三级的框架和斜撑构件（含梯段），其纵向受力钢筋采用普通钢筋时，钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25；钢筋的屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于 1.3，且钢筋在最大拉力下的总伸长率实测值不应小于 9%。

(3) 钢结构的钢材应符合下列规定：

1) 钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85；

2) 钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%；

3) 钢材应有良好的焊接性和合格的冲击韧性。

3. 结构材料性能指标，尚宜符合下列要求：

(1) 普通钢筋宜优先采用延性、韧性和焊接性较好的钢筋；普通钢筋的强度等级，纵向受力钢筋宜选用符合抗震性能指标的不低于 HRB400 级的热轧钢筋，也可采用符合抗震性能指标的 HRB335 级热轧钢筋；箍筋宜选用符合抗震性能指标的不低于 HRB335 级的热轧钢筋，也可选用 HPB300 级热轧钢筋。

(2) 混凝土结构的混凝土强度等级，抗震墙不宜超过 C60。其他构件，9 度时不宜超过 C60；8 度时不宜超过 C70。

(3) 钢结构的钢材宜采用 Q235 等级 B、C、D 的碳素结构钢及 Q345 等级 B、C、D、E 的低合金高强度结构钢；当有可靠依据时，尚可采用其他钢种和钢号。

4. 在施工中，当需要以强度等级较高的钢筋替代原设计中的纵向受力钢筋时，应按照钢筋受拉承载力设计值相等的原则换算，并应满足最小配筋率要求。

5. 采用焊接连接的钢结构，当接头的焊接拘束度较大、钢板厚度不小于 40mm 且承受沿板厚方向的拉力时，钢板厚度方向截面收缩率不应小于国家标准。

6. 钢筋混凝土构造柱和底部框架-抗震墙房屋中的砌体抗震墙，其施工应先砌墙后浇构造柱和框架梁柱。

7. 混凝土墙体、框架柱的水平施工缝，应采取措施加强混凝土的结合性能。对于抗震等级一级的墙体和转换层楼板与落地混凝土墙体的交接处，宜验算水平施工缝截面的受剪承载力。

(七) 建筑物地震反应观测系统

抗震设防烈度为 7、8、9 度时，高度分别超过 160m、120m、80m 的大型公共建筑，

应按规定设置建筑结构的地震反应观测系统，建筑设计应留有观测仪器和线路的位置。

【要点】

◆ 优先采用延性好、韧性及可焊性较好的热轧钢筋。

◆ 对钢筋混凝土结构中的混凝土强度等级有所限制，是因为高强混凝土具有脆性性质，且随强度等级提高而增加。

当耐久性有要求时，混凝土的最低强度等级，应遵守有关规定。

◆ 碳素结构钢 Q235 中，其中 A 级钢不要求任何冲击试验值，并只在用户要求时才进行冷弯实验，且不保证焊接要求的碳含量，故不建议采用。

低合金高强度结构钢 Q345 中，其中 A 级钢不保证冲击韧性要求和延性性能的基本要求，故亦不建议采用。

◆ 钢筋代换时应注意替代后的纵向钢筋的总承载力设计值不应高于原设计的纵向钢筋总承载力设计值，以免构件发生混凝土的脆性破坏（混凝土压碎、剪切破坏等）。

还应满足最小配筋率和钢筋间距等构造要求，并应注意由于钢筋的强度和直径改变，会影响正常使用极限状态挠度和裂缝宽度。

◆ 结构中采用冷处理钢筋替换原设计中的热轧钢筋时，有较高延性要求及抗震设计的关键部位的楼板（如转换层楼板、结构嵌固部位的楼板等），不应采用冷处理钢筋，也不得采用冷处理钢筋替换原设计中的热轧钢筋。

例 15-7 （13-55） 有抗震要求的钢筋混凝土框支梁的混凝土强度等级不应低于：

A C25　　B C30　　C C35　　D C40

提示： 有抗震要求的混凝土结构材料应符合下列最低要求：框支梁、框支柱及抗震等级为一级的框架梁、柱、节点核芯区，混凝土强度等级不应低于 C30。

答案： B

规范：《抗震规范》第 3.9.2 条第 2 款 1)；《混凝土结构设计规范》第 11.2.1 条第 2 款。

例 15-8 （14-56） 8 度抗震设计的钢筋混凝土结构，框架柱的混凝土强度等级不宜超过：

A C60　　B C65　　C C70　　D C75

提示： 混凝土抗震墙的强度等级不宜超过 C60；其他构件，9 度时不宜超过 C60，8 度时不宜超过 C70。

答案： C

规范：《高层混凝土规程》第 3.2.2 条第 8 款；《抗震规范》第 3.9.3 条第 2 款及对应条文说明；《混凝土结构设计规范》第 11.2.1 条第 1 款。

四、场地、地基和基础

地震造成建筑的破坏，除地震动直接引起的破坏外，场地条件对地震破坏的影响有以下几种情况：

1. 振动破坏。建筑结构在地面运动作用下剧烈振动，结构承载力不足、变形过大、连接破坏、构件失稳导致结构整体倾覆破坏。

2. 地基失效。结构本身具有足够的抗震能力，在地震作用下不会发生破坏；但由于

地基失效导致建筑物破坏或不能正常使用。可分为以下两种情况：

（1）地震引起的地质灾害（山崩、滑坡、地陷等）及地面变形（地面裂缝或错位等）对上部结构的直接危害。

（2）地震引起的饱和砂土及粉土液化、软土震陷等地基失效，造成上部结构的破坏。

（一）场地

国内外大量的震害表明，不同场地上的建筑物震害差异很大。一般说来场地条件对震害影响的主要因素是：场地土的坚硬或密实程度及场地覆盖层厚度，土愈软、覆盖层愈厚，震害愈重，反之愈轻。

1. 选择建筑场地时，应按表 15-5 划分对建筑抗震有利、一般、不利和危险的地段。

2. 建筑场地的类别划分，应以土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度为准。

3. 土的类型划分和剪切波速范围见表 15-10。

土的类型划分和剪切波速范围　　表 15-10

土的类型	岩土名称和性状	土层剪切波速范围 (m/s)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$v_s>800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石，密实的碎石土	$800\geqslant v_s>500$
中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂，$f_{ak}>150$ 的黏性土和粉土，坚硬黄土	$500\geqslant v_s>250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂，$f_{ak}\leqslant150$ 的黏性土和粉土，$f_{ak}>130$ 的填土，可塑新黄土	$250\geqslant v_s>150$
软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的黏性土和粉土，$f_{ak}\leqslant130$ 的填土，流塑黄土	$v_s\leqslant150$

注：f_{ak}为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值（kPa）；v_s为岩土剪切波速。

4. 建筑的场地类别，应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度按表 15-11 划分为四类，其中Ⅰ类分为$Ⅰ_0$、$Ⅰ_1$两个亚类。

各类建筑场地的覆盖层厚度（m）　　表 15-11

岩石的剪切波速或土的等效剪切波速（m/s）	场地类别				
	$Ⅰ_0$	$Ⅰ_1$	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
$v_s>800$	0				
$800\geqslant v_s>500$		0			
$500\geqslant v_{se}>250$		<5	≥5		
$250\geqslant v_{se}>150$		<3	3～50	>50	
$v_{se}\leqslant150$		<3	3～15	15～80	>80

注：表中 v_s系岩石的剪切波速。

（二）天然地基和基础

1. 下列建筑可不进行天然地基及基础的抗震承载力验算：

（1）抗震规范规定可不进行上部结构抗震验算的建筑。

（2）地基主要受力层范围内不存在软弱黏性土层的下列建筑：

1）一般的单层厂房和单层空旷房屋；

2）砌体房屋；

3）不超过 8 层且高度在 24m 以下的一般民用框架和框架-抗震墙房屋；

4）基础荷载与 3）项相当的多层框架厂房和多层混凝土抗震墙房屋。

注：软弱黏性土层指 7 度、8 度和 9 度时，地基承载力特征值分别小于 80kPa、100kPa 和 120kPa 的土层。

大量的一般天然地基都具有较好的抗震性能，因此规范规定了天然地基可不进行抗震承载力验算的范围。

2. 天然地基基础抗震验算时，应采用地震作用效应标准组合，且地基抗震承载力应取地基承载力特征值乘以地基抗震承载力调整系数来计算。

3. 地基抗震承载力应按下式计算：

$$f_{aE}=\zeta_a f_a \tag{15-1}$$

式中 f_{aE}——调整后的地基抗震承载力；

ζ_a——地基抗震承载力调整系数；

f_a——深宽修正后的地基承载力特征值，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 采用。

4. 验算天然地基地震作用下的竖向承载力时，按地震作用效应标准组合的基础底面平均压力和边缘最大压力应符合下列各式要求：

$$p\leqslant f_{aE} \tag{15-2}$$

$$p_{max}\leqslant 1.2f_{aE} \tag{15-3}$$

式中 p——地震作用效应标准组合的基础底面平均压力；

p_{max}——地震作用效应标准组合的基础边缘的最大压力。

高宽比大于 4 的高层建筑，在地震作用下，基础底面不宜出现脱离区（零应力区）；其他建筑，基础底面与地基土之间的脱离区（零应力区）面积不应超过基础底面面积的 15%。

【要点】天然地基一般都具有较好的抗震性能，在遭受破坏的建筑中，因地基失效导致的破坏要少于上部结构惯性力的破坏，因此符合条件的地基（尤其是天然地基）可不进行抗震承载力验算。具体规范要求可按表 15-12 理解。

可不进行天然地基及基础抗震承载力验算的建筑　　表 15-12

序号	结构类型	具体内容	
1	单层结构	地基主要受力层范围不存在软弱黏土层	一般的单层厂房和单层空旷房屋
2	砌体结构		全部
3	多层框架、框架-抗震墙		不超过 8 层且高度在 24m 以下的一般民用框架和框架-抗震墙结构
4	框架厂房、抗震墙结构		基础荷载与第 3 项相当的多层框架厂房和多层混凝土抗震墙房屋
5	其他	《抗震规范》规定的可不进行上部结构抗震验算的建筑	

（引自：朱炳寅．建筑抗震设计规范应用与分析（第二版）．北京：中国建筑工业出版社，2017）

例 15-9 （14-111） 地基的主要受力层范围内不存在软弱黏性土层，下列哪种建筑的天然地基需要进行抗震承载力验算？

A　6 层高度 18m 砌体结构住宅　　　　B　4 层高度 20m 框架结构教学楼

C　10 层高度 40m 框-剪结构办公楼　　D　24m 跨单层门式刚架厂房

提示： 分析选项中结构体系和楼层数，最有可能的答案应是 10 层 40m 的框-剪结构：首先是层数最高，其次是框-剪结构有剪力墙。因为剪力墙（即抗震墙）承受了大部分水平地震作用，设计时应特别注意加强对抗震墙下基础及地基的抗震验算。规范规定同样条件下，不超过 8 层且高度在 24m 以下的框架-抗震墙结构房屋可不验算，故 C 选项需要进行验算。

答案： C

规范：《抗震规范》第 4.2.1 条第 2 款 3)。

（三）液化土和软土地基

1. 饱和砂土和饱和粉土（不含黄土）的液化判别和地基处理，6 度时，一般情况下可不进行判别和处理，但对液化沉陷敏感的乙类建筑可按 7 度的要求进行判别和处理；7～9度时，乙类建筑可按本地区抗震设防烈度的要求进行判别和处理。

2. 地面下存在饱和砂土和饱和粉土时，除 6 度外，应进行液化判别；存在液化土层的地基，应根据建筑的抗震设防类别、地基的液化等级，结合具体情况采取相应的措施。

注：本条饱和土液化判别要求不含黄土和粉质黏土。

3. 对存在液化砂土层、粉土层的地基，应探明各液化土层的深度和厚度，按其液化指数综合划分地基的液化等级，见表 15-13。

液化等级与液化指数的对应关系　　　　表 15-13

液化等级	轻　微	中　等	严　重
液化指数 I_{lE}	$0<I_{lE}\leqslant 6$	$6<I_{lE}\leqslant 18$	$I_{lE}>18$

4. 当液化砂土层、粉土层较平坦且均匀时，宜按表 15-14 选用地基抗液化措施；尚可计入上部结构重力荷载对液化危害的影响，根据液化震陷量的估计，适当调整抗液化措施。不宜将未处理的液化土层作为天然地基持力层。

抗液化措施　　　　表 15-14

建筑抗震	地基的液化等级		
设防类别	轻微	中等	严重
乙类	部分消除液化沉陷，或对基础和上部结构处理	全部消除液化沉陷，或部分消除液化沉陷且对基础和上部结构处理	全部消除液化沉陷
丙类	基础和上部结构处理，亦可不采取措施	基础和上部结构处理，或更高要求的措施	全部消除液化沉陷，或部分消除液化沉陷且对基础和上部结构处理

续表

建筑抗震	地基的液化等级		
设防类别	轻微	中等	严重
丁类	可不采取措施	可不采取措施	基础和上部结构处理，或其他经济的措施

注：甲类建筑的地基抗液化措施应进行专门研究，但不宜低于乙类的相应要求。

5. 全部消除地基液化沉陷的措施，应符合下列要求：

(1) 采用桩基时，桩端深入液化深度以下稳定土层中的长度（不包括桩尖部分），应按计算确定，且对碎石土，砾，粗、中砂，坚硬黏性土和密实粉土尚不应小于 0.8m，对其他非岩石土尚不宜小于 1.5m。

(2) 采用深基础时，基础底面应埋入液化深度以下的稳定土层中，其深度不应小于 0.5m。

(3) 采用加密法（如振冲、振动加密、挤密碎石桩、强夯等）加固时，应处理至液化深度下界。

(4) 用非液化土替换全部液化土层，或增加上覆非液化土层的厚度。

(5) 采用加密法或换土法处理时，在基础边缘以外的处理宽度，应超过基础底面下处理深度的 1/2 且不小于基础宽度的 1/5。

6. 部分消除地基液化沉陷的措施，应符合下列要求：

(1) 处理深度应使处理后的地基液化指数减少，其值不宜大于 5；大面积筏形基础、箱形基础的中心区域，处理后的液化指数可比上述规定降低 1；对独立基础和条形基础，尚不应小于基础底面下液化土特征深度和基础宽度的较大值。

(2) 采用振冲或挤密碎石桩加固后，桩间土的标准贯入锤击数不宜小于规范规定。

(3) 基础边缘以外的处理宽度，应符合规范规定。

(4) 采用减小液化震陷的其他方法，如增厚上覆非液化土层的厚度和改善周边的排水条件等。

7. 减轻液化影响的基础和上部结构处理，可综合采用下列各项措施：

(1) 选择合适的基础埋置深度。

(2) 调整基础底面积，减少基础偏心。

(3) 加强基础的整体性和刚度，如采用箱形基础、筏形基础或钢筋混凝土交叉条形基础，加设基础圈梁等。

(4) 减轻荷载，增强上部结构的整体刚度和均匀对称性，合理设置沉降缝，避免采用对不均匀沉降敏感的结构形式。

(5) 管道穿过建筑处应预留足够尺寸或采用柔性接头等。

例 15-10 (12-104) 抗震设计时，全部消除地基液化的措施中，下面哪一项是不正确的？

A 采用桩基，桩端伸入液化土层以下稳定土层中必要的深度

B 采用筏形基础

C 采用加密法，处理至液化深度下界

D 用非液化土替换全部液化土层

提示：采用筏形基础、箱形基础等整体性好的基础对抗液化十分有利，但属于部分消除地基液化措施。

答案：B

规范：《抗震规范》第 4.3.8 条、第 4.3.7 条第 1、4、3 款。

例 15-11 （12-109）对抗震设防地区建筑场地液化的叙述，下列何者是错误的？

A 建筑场地存在液化土层对房屋抗震不利

B 6 度抗震设防地区的建筑场地，一般情况下可不进行场地的液化判别

C 饱和砂土与饱和粉土的地基在地震中可能出现液化

D 黏性土地基在地震中可能出现液化

提示：饱和砂土和饱和粉土在地震时易产生液化现象，对房屋抗震不利。黏土和粉质黏土因土粒间有黏性，不易液化。在 6 度区液化对房屋造成的震害比较轻微，故规范规定，饱和砂土和饱和粉土在 6 度时，一般情况下可不进行判别和处理，但对液化沉陷敏感的乙类建筑可按 7 度的要求进行判别和处理。

答案：D

规范：《抗震规范》第 4.3.1 条。

（四）桩基

承受竖向荷载为主的低承台桩基，当地面下无液化土层，而且桩承台周围无淤泥、淤泥质土和地基承载力特征值不大于 100kPa 的填土时，下列建筑可不进行桩基抗震承载力验算：

1. 6～8 度时的下列建筑：

(1) 一般的单层厂房和单层空旷房屋；

(2) 不超过 8 度且高度在 24m 以下的一般民用框架房屋和框架-抗震墙房屋；

(3) 基础荷载与 (2) 项相当的多层框架厂房和多层混凝土抗震墙房屋。

2.《抗震规范》规定的可不进行上部结构抗震验算的建筑及砌体房屋。

【要点】

◆根据桩基抗震性能一般比同类结构的天然地基要好的宏观经验，规范规定了桩基可不进行抗震验算的范围，见表 15-15。

◆注意与表 15-12 进行比较，区分不同和相似之处。

可不进行桩基抗震承载力验算的建筑 **表 15-15**

序号	设防烈度	结构类型	基本条件
1	6 度～8 度	一般的单层厂房和单层空旷房屋	承受竖向荷载为主的低承台桩基，当地面下无液化土层，且桩基周围无淤泥、淤泥质土和地基承载力特征值不大于 100kPa 的填土时
2		不超过 8 度且高度在 24m 以下的一般民用框架房屋和框架-抗震房屋	
3		基础荷载与第 2 项相当的多层框架厂房和多层混凝土抗震墙房屋	
4	《抗震规范》规定的可不进行上部结构抗震验算的建筑及砌体结构		

例 15-12 (09-128) 下列哪个建筑可不进行桩基承载力验算？

A 9度时，4层砌体结构宿舍

B 8度时，9层框架结构宾馆

C 7度时，16层抗震墙结构住宅

D 6度时，28层框架-抗震墙结构酒店

提示： 砌体结构可不进行桩基抗震承载力验算。

答案： A

规范：《抗震规范》第4.4.1条第二款、第4.2.1条。

五、地震作用

（一）各类建筑结构的地震作用，应符合下列规定：

1. 一般情况下，应至少在建筑结构的两个主轴方向分别计算水平地震作用，各方向的水平地震作用应由该方向的抗侧力构件承担。

2. 有斜交抗侧力构件的结构，当相交角度大于15°时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。

3. 质量和刚度分布明显不对称的结构，应计入双向水平地震作用下的扭转影响；其他情况，应允许采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。

4. 8、9度时的大跨度和长悬臂结构及9度时的高层建筑，应计算竖向地震作用。

（二）地震作用的大小取决于：

1. 地震烈度的大小，烈度增大一度，地震作用增大一倍。

2. 建筑结构本身的动力特性（本身的自振周期、阻尼），自振周期越小，地震作用越大；自振周期越大，地震作用越小。阻尼小，地震作用大；阻尼大，地震作用小。

3. 建筑物本身的质量，质量越大，地震作用越大；质量越小，地震作用越小。

（三）在地震作用下，结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1.6度时的建筑（不规则建筑及建造于Ⅳ类场地上较高的高层建筑除外），以及生土房屋和木结构房屋等，应符合有关的抗震措施要求，但应允许不进行截面抗震验算。

2.6度时不规则建筑、建造于Ⅳ类场地上较高的高层建筑，7度和7度以上的建筑结构（生土房屋和木结构房屋等除外），应进行多遇地震作用下的截面抗震验算。

注：采用隔震设计的建筑结构，其抗震验算应符合有关规定。

【要点】

◆ 大跨度和长悬臂结构见表15-16：

9度和9度以上时，跨度大于18m的屋架、1.5m以上的悬挑阳台和走廊；8度时，跨度大于24m的屋架，2m以上的悬挑阳台和走廊等震害严重。

注：平面投影尺度很大的大跨空间结构，指跨度大于120m或长度大于300m或悬臂大于40m的结构。

大跨度和长悬臂结构 **表15-16**

抗震设防烈度	大跨度结构	长悬臂结构	地震作用
8度	≥24m屋架	≥2.0m悬挑阳台和走廊	应计算竖向地震作用
9度	≥18m屋架	≥1.5m悬挑阳台和走廊	
	高层建筑		

◆抗震验算规定可概括为表 15-17：

抗震验算规定　　表 15-17

设防烈度	应进行抗震验算的建筑	允许不进行抗震验算的建筑
6 度时	不规则建筑	除应验算之外的建筑及生土房屋和木结构房屋
	建造于Ⅳ类场地上较高的高层建筑	
7 度和 7 度以上时	大多数建筑结构	生土房屋和木结构房屋
注：允许不进行多遇地震作用下的抗震验算，应符合有关的抗震构造措施		

注："较高的高层建筑"指高于 40m 的钢筋混凝土框架、高于 60m 的其他钢筋混凝土民用房屋和类似的工业厂房，以及高层钢结构房屋。

例 15-13　(10-116) 建筑结构按 8、9 度抗震设防时，下列叙述哪项不正确?

A　大跨度及长悬臂结构除考虑水平地震作用外，还应考虑竖向地震作用

B　大跨度及长悬臂结构只需考虑竖向地震作用，可不考虑水平地震作用

C　当上部结构确定后，场地越差（场地类别越高），其地震作用越大

D　当场地类别确定后，上部结构侧向刚度越大，其地震水平位移越小

提示： 规范规定：一般情况下，应至少在建筑结构的两个主轴方向分别计算水平地震作用；特别情况，8、9 度时的大跨度和长悬臂结构及 9 度时的高层建筑除考虑水平地震作用外，因受竖向地震作用影响大，还应计算竖向地震作用。

答案： B

规范：《抗震规范》第 5.1.1 条第 1、4 款。

例 15-14　(14-91) 对于钢筋混凝土结构高层建筑而言，下列措施中对减小水平地震作用最有效的是：

A　增大竖向结构构件截面尺寸　　B　增大水平结构构件截面尺寸

C　增大结构构件配筋　　D　减小建筑物各楼层重量

提示： 钢筋混凝土高层建筑的水平地震作用与建筑物质量成正比关系，要减小水平地震作用最有效的措施是减小建筑物各楼层质量。

答案： D

（四）多遇地震作用下的抗震变形验算

对于表 15-17 所列各类结构应进行多遇地震作用下的抗震变形验算，其楼层内最大的弹性层间位移角 θ_e 应小于表 15-18 中的 $[\theta_e]$。

$$\Delta u_e \leqslant [\theta_e] h \tag{15-4}$$

式中　Δu_e——多遇地震作用标准值产生的楼层内最大弹性层间位移；

$[\theta_e]$——弹性层间位移角限值，宜按表 15-18 采用；

h——计算楼层层高。

弹性层间位移角限值 **表 15-18**

结 构 类 型	$[\theta_e]$
钢筋混凝土框架	1/550
钢筋混凝土框架-抗震墙、板柱-抗震墙、框架-核心筒	1/800
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒	1/1000
钢筋混凝土框支层	1/1000
多、高层钢结构	1/250

（五）结构在罕遇地震作用下薄弱层的弹塑性变形验算

结构薄弱层（部位）弹塑性层间位移应符合下式及表 15-19 的限值要求：

$$\Delta u_p \leqslant [\theta_p]h \quad (15\text{-}5)$$

式中 Δu_p——弹塑性层间位移；

$[\theta_p]$——弹塑性层间位移角限值，宜按表 15-19 采用；

h——薄弱层楼层高度或单层厂房上柱高度。

弹塑性层间位移角限值 **表 15-19**

结构类型	$[\theta_p]$
单层钢筋混凝土柱排架	1/30
钢筋混凝土框架	1/50
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙	1/100
钢筋混凝土框架-抗震墙、板柱-抗震墙、框架-核心筒	1/100
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒	1/120
多、高层钢结构	1/50

【要点】

◆采用层间位移角作为衡量结构变形能力从而判别是否满足建筑功能要求的指标。

◆对各类钢筋混凝土结构和钢结构要求进行多遇地震作用下的弹性变形验算，实现第一水准的设防要求。弹性变形验算属于正常使用极限状态的验算。

◆在罕遇地震作用下，结构要进入弹塑性变形状态。判别薄弱层部位和验算薄弱层的弹塑性变形，其目的是实现第二阶段抗震设计“大震不倒”的设防目标。

◆钢结构在构件稳定有保证时具有较好的延性，弹塑性层间位移角限值可适当放宽至1/50。

例 15-15 （11-97） 关于钢筋混凝土高层建筑的层间最大位移与层高之比的限值，下列比较哪一项不正确？

A 框架结构＞框架-抗震墙结构　　　B 框架-抗震墙结构＞抗震墙结构

C 抗震墙结构＞框架-核心筒结构　　D 框架结构＞板柱-抗震墙结构

提示：多遇地震作用下的层间最大位移与层高之比的限值与钢筋混凝土结构类型有关，即结构抗侧移刚度越大，侧向位移就越小，层间最大位移和层高之比的限值也越小。

从表 15-18 中可看出，剪力墙（即抗震墙）结构的限值为 1/1000，小于框架-剪力墙结构（1/800），因此 C 错误。

答案：C

规范：《高层混凝土规程》第 3.7.3 条表 3.7.3；《抗震规范》第 5.5.1 条表 5.5.1。

例 15-16　(14-81) 某钢筋混凝土框架，为减小结构的水平地震作用，下列措施错误的是：

A 采用轻质隔墙　　　B 砌体填充墙与框架主体采用柔性连接

C 加设支撑　　　D 设置隔震支座

提示：结构的水平抗震作用与结构刚度成正比关系，对柔性连接的建筑构件，可不计入刚度；设置隔震支座可减少结构的水平地震作用；采用轻质隔墙不会增大结构刚度，但会减小结构的质量；加设支撑的措施会加大结构的刚度，增大水平地震作用。

答案：C

规范：《抗震规范》第 13.2.1 条第 2 款。

注：对嵌入抗侧力构件平面内的刚性建筑非结构构件，应计入其刚度影响。

第二节　建筑结构抗震设计

一、多层和高层钢筋混凝土房屋

（一）一般规定

1. 本部分适用的现浇钢筋混凝土房屋的结构类型和最大高度应符合表 15-20 的要求。平面和竖向均不规则的结构，适用的最大高度应适当降低。

注：本节的“抗震墙”指结构抗侧力体系中的钢筋混凝土剪力墙，不包括只承担重力荷载的混凝土墙。

(1)《抗震规范》对钢筋混凝土房屋的最大高度做了如下规定（表 15-20）：

钢筋混凝土房屋适用的最大高度（m）　　表 15-20

结构类型	烈度				
	6	7	8 (0.2g)	8 (0.3g)	9
框架	60	50	40	35	24
框架-抗震墙	130	120	100	80	50
抗震墙	140	120	100	80	60
部分框支抗震墙	120	100	80	50	不应采用

续表

结构类型		烈度				
		6	7	8（0.2g）	8（0.3g）	9
筒体	框架-核心筒	150	130	100	90	70
	筒中筒	180	150	120	100	80
板柱-抗震墙		80	70	55	40	不应采用

注：1. 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；
2. 框架-核心筒结构指周边稀柱框架与核心筒组成的结构；
3. 部分框支抗震墙结构指首层或底部两层为框支层的结构，不包括仅个别框支墙的情况；
4. 表中框架，不包括异形柱框架；
5. 板柱-抗震墙结构指板柱、框架和抗震墙组成抗侧力体系的结构；
6. 乙类建筑可按本地区抗震设防烈度确定其适用的最大高度；
7. 超过表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施。

（2）《高层混凝土规程》对钢筋混凝土高层建筑结构的最大适用高度做了以下补充规定，A 级高度的乙类和丙类建筑应符合表 15-21 的规定；B 级高度的乙类和丙类建筑应符合表 15-22 的规定。

A 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度（m）　　　　**表 15-21**

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度				
			6 度	7 度	8 度		9 度
					0.20g	0.30g	
框架		70	60	50	40	35	—
框架-剪力墙		150	130	120	100	80	50
剪力墙	全部落地剪力墙	150	140	120	100	80	60
	部分框支剪力墙	130	120	100	80	50	不应采用
筒　体	框架-核心筒	160	150	130	100	90	70
	筒中筒	200	180	150	120	100	80
板柱-剪力墙		110	80	70	55	40	不应采用

注：1. 表中框架不含异形柱框架；
2. 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙的剪力墙结构；
3. 甲类建筑，6、7、8 度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表的要求，9 度时应专门研究；
4. 框架结构、板柱-剪力墙结构以及 9 度抗震设防的表列其他结构，当房屋高度超过本表数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效的加强措施。

B 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度（m）　　　　**表 15-22**

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	
					0.20g	0.30g
框架-剪力墙		170	160	140	120	100
剪力墙	全部落地剪力墙	180	170	150	130	110
	部分框支剪力墙	150	140	120	100	80
筒体	框架-核心筒	220	210	180	140	120
	筒中筒	300	280	230	170	150

注：1. 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙的剪力墙结构；
2. 甲类建筑，6、7 度时宜按本地区设防烈度提高一度后符合本表的要求，8 度时应专门研究；
3. 当房屋高度超过表中数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效的加强措施。

（3）钢筋混凝土高层建筑结构的高宽比不宜超过表 15-23 的规定。

钢筋混凝土高层建筑结构适用的最大高宽比 **表 15-23**

结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6度、7度	8度	9度
框架	5	4	3	—
板柱-剪力墙	6	5	4	—
框架-剪力墙、剪力墙	7	6	5	4
框架-核心筒	8	7	6	4
筒中筒	8	8	7	5

【要点】

◆对采用钢筋混凝土材料的高层建筑，从安全和经济方面综合考虑，其适用最大高度应有所限制。超过最大适用高度时，应通过专门研究采取有效加强措施，如采用型钢混凝土构件、钢管混凝土构件等，并按有关规定进行专项审查。

◆钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度分 A 级高度、B 级高度：

—A 级高度钢筋混凝土高层建筑指符合表 15-21 最大适用高度的建筑，是目前数量最多、应用最广泛的建筑；

—当框架-剪力墙、剪力墙及筒体结构的高度超过表 15-21 的最大适用高度时，列入 B 级高度高层建筑。B 级高度最大适用高度允许建筑物更高，但不应超过表 15-22 规定的限值，其相应的抗震等级、有关计算和构造措施更为严格。

—对房屋高度超过 A 级最大适用高度的框架、板柱-剪力墙结构以及 9 度抗震设计的各类结构，因研究成果和工程经验尚不足，故在 B 级高度的高层建筑中未列入。

—高层建筑的高宽比，是对结构刚度、整体稳定性、承载能力和经济合理性的宏观控制。

例 15-17 **（12-92）**根据现行《建筑抗震设计规范》，确定现浇钢筋混凝土房屋适用的最大高度与下列哪项因素无关？

A 抗震设防烈度　　B 设计地震分组

C 结构类型　　D 结构平面和竖向的规则情况

提示：现浇钢筋混凝土房屋的最大适用高度与抗震设防烈度和结构类型有关；设计地震分组是体现震级和震中距影响的参数，与房屋适用高度无关；平面和竖向均不规则的结构，适用的最大高度宜适当降低。

答案：B

规范：《抗震规范》第 6.1.1 条表 6.1.1；《高层混凝土规程》第 3.3.1 条。

例 15-18 **（11-101）**下列钢筋混凝土结构体系中，可用于 B 级高度高层建筑的为下列何项？

Ⅰ. 框架-抗震墙结构　　Ⅱ. 框架-核心筒结构

Ⅲ. 短肢剪力墙较多的剪力墙结构　　Ⅳ. 筒中筒结构

A Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ　　B Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

C Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ　　D Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

提示： 短肢剪力墙结构抗震性能差，震害严重，因此在B级高度高层建筑以及抗震设防烈度为9度的A级高度高层建筑中，不宜布置短肢剪力墙，不应采用具有较多短肢剪力墙的剪力墙结构。

答案： C

规范：《高层混凝土规程》第7.1.8条、第3.3.1条表3.3.1-2。

注：具有较多短肢剪力墙是指在规定的水平地震作用下，短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩不小于结构底部总地震倾覆力矩的30%的剪力墙结构。

2. 钢筋混凝土房屋应根据设防类别、烈度、结构类型和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。丙类建筑的抗震等级应按表15-24确定，A、B级高度的丙类高层建筑结构抗震等级应符合表15-25及表15-26的要求。

钢筋混凝土房屋的抗震等级 **表15-24**

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">结构类型</th><th colspan="10">设防烈度</th></tr>
<tr><th colspan="2">6</th><th colspan="3">7</th><th colspan="3">8</th><th colspan="2">9</th></tr>
<tr><td rowspan="3">框架结构</td><td colspan="2">高度（m）</td><td>≤24</td><td>>24</td><td>≤24</td><td colspan="2">>24</td><td>≤24</td><td colspan="2">>24</td><td colspan="2">≤24</td></tr>
<tr><td colspan="2">框架</td><td>四</td><td>三</td><td>三</td><td colspan="2">二</td><td>二</td><td colspan="2">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td colspan="2">大跨度框架</td><td colspan="2">三</td><td colspan="3">二</td><td colspan="3">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td rowspan="3">框架-抗震墙结构</td><td colspan="2">高度（m）</td><td>≤60</td><td>>60</td><td>≤24</td><td>25～60</td><td>>60</td><td>≤24</td><td>25～60</td><td>>60</td><td>≤24</td><td>25～50</td></tr>
<tr><td colspan="2">框架</td><td>四</td><td>三</td><td>四</td><td>三</td><td>二</td><td>三</td><td>二</td><td>一</td><td>二</td><td>一</td></tr>
<tr><td colspan="2">抗震墙</td><td colspan="2">三</td><td>三</td><td colspan="2">二</td><td>二</td><td colspan="2">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td rowspan="2">抗震墙结构</td><td colspan="2">高度（m）</td><td>≤80</td><td>>80</td><td>≤24</td><td>25～80</td><td>>80</td><td>≤24</td><td>25～80</td><td>>80</td><td>≤24</td><td>25～60</td></tr>
<tr><td colspan="2">剪力墙</td><td>四</td><td>三</td><td>四</td><td>三</td><td>二</td><td>三</td><td>二</td><td>一</td><td>二</td><td>一</td></tr>
<tr><td rowspan="4">部分框支抗震墙结构</td><td colspan="2">高度（m）</td><td>≤80</td><td>>80</td><td>≤24</td><td>25～80</td><td>>80</td><td>≤24</td><td>25～80</td><td rowspan="4"></td><td colspan="2" rowspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">抗震墙</td><td>一般部位</td><td>四</td><td>三</td><td>四</td><td>三</td><td>二</td><td>三</td><td>二</td></tr>
<tr><td>加强部位</td><td>三</td><td>二</td><td>三</td><td>二</td><td>一</td><td>二</td><td>一</td></tr>
<tr><td colspan="2">框支层框架</td><td colspan="2">二</td><td colspan="2">二</td><td>一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td rowspan="2">框架-核心筒结构</td><td colspan="2">框架</td><td colspan="2">三</td><td colspan="3">二</td><td colspan="3">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td colspan="2">核心筒</td><td colspan="2">二</td><td colspan="3">二</td><td colspan="3">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td rowspan="2">筒中筒结构</td><td colspan="2">外筒</td><td colspan="2">三</td><td colspan="3">二</td><td colspan="3">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td colspan="2">内筒</td><td colspan="2">三</td><td colspan="3">二</td><td colspan="3">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td rowspan="3">板柱-抗震墙结构</td><td colspan="2">高度（m）</td><td>≤35</td><td>>35</td><td>≤35</td><td colspan="2">>35</td><td>≤35</td><td colspan="2">>35</td><td colspan="2" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">框架、板柱的柱</td><td>三</td><td>二</td><td>二</td><td colspan="2">二</td><td colspan="3">一</td></tr>
<tr><td colspan="2">抗震墙</td><td>二</td><td>二</td><td>二</td><td colspan="2">一</td><td>二</td><td colspan="2">一</td></tr>
</table>

注：1. 建筑场地为Ⅰ类时，除6度外应允许按表内降低一度所对应的抗震等级采取抗震构造措施，但相应的计算要求不应降低；
2. 接近或等于高度分界时，应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级；
3. 大跨度框架指跨度不小于18m的框架；
4. 高度不超过60m的框架-核心筒结构按框架-抗震墙的要求设计时，应按表中框架-抗震墙结构的规定确定其抗震等级。

A 级高度的高层建筑结构抗震等级 **表 15-25**

结构类型			烈度						
			6 度		7 度		8 度		9 度
框架结构			三		二		一		一
框架-剪力墙结构	高度（m）		≤60	>60	≤60	>60	≤60	>60	≤50
	框架		四	三	三	二	二	一	一
	剪力墙		三		二		一		一
剪力墙结构	高度（m）		≤80	>80	≤80	>80	≤80	>80	≤60
	剪力墙		四	三	三	二	二	一	一
部分框支剪力墙结构	非底部加强部位的剪力墙		四	三	三	二	二	——	——
	底部加强部位的剪力墙		三	二	二	一	一		
	框支框架		二		二	一	一		
筒体结构	框架-核心筒	框架	三		二		一		一
		核心筒	二		二		一		一
	筒中筒	内筒	三		二		一		一
		外筒							
板柱-剪力墙结构	高度（m）		≤35	>35	≤35	>35	≤35	>35	——
	框架、板柱及柱上板带		三	二	二	二	一	一	
	剪力墙		二	二	二	一	二	一	

注：1. 接近或等于高度分界时，应结合房屋不规则程度及场地、地基条件适当确定抗震等级；
2. 底部带转换层的筒体结构，其转换框架的抗震等级应按表中部分框支剪力墙结构的规定采用；
3. 当框架-核心筒结构的高度不超过 60m 时，其抗震等级应允许按框架-剪力墙结构采用。

B 级高度的高层建筑结构抗震等级 **表 15-26**

结构类型		烈度		
		6 度	7 度	8 度
框架-剪力墙	框架	二	一	一
	剪力墙	二	一	特一
剪力墙	剪力墙	二	一	一
部分框支剪力墙	非底部加强部位剪力墙	二	一	一
	底部加强部位剪力墙	一	一	特一
	框支框架	一	特一	特一
框架-核心筒	框架	二	一	一
	筒体	二	一	特一
筒中筒	外筒	二	一	特一
	内筒	二	一	特一

注：底部带转换层的筒体结构，其转换框架和底部加强部位筒体的抗震等级应按表中部分框支剪力墙结构的规定采用。

【要点】

◆钢筋混凝土房屋的抗震等级是重要的设计参数，应根据设防类别、结构类型、烈度和房屋高度四个因素确定。

◆抗震等级的划分，体现了抗震设防类别、结构类型、烈度不同时或同一烈度但高度不同时，钢筋混凝土房屋结构的延性要求不同，以及同一种构件在不同结构类型中的延性要求的不同。

◆甲、乙类建筑应按本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强抗震措施，但抗震设防烈度9度时，应按比9度更高的要求采取抗震措施。

例 15-19　(09-108) 现浇钢筋混凝土房屋的抗震等级与以下哪些因素有关?

Ⅰ.抗震设防烈度；Ⅱ.建筑物高度；Ⅲ.结构类型；Ⅳ.建筑场地类别

A　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　　B　Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ

C　Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ　　　D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

提示： 现浇钢筋混凝土房屋应根据设防类别、烈度、结构类型和房屋高度的不同，采用不同的抗震等级，并满足相应的计算和抗震措施要求。

答案： A

规范：《抗震规范》第6.1.2条表6.1.2；《高层混凝土规程》第3.9.3条表3.9.3；《混凝土结构设计规范》第11.1.3条表11.1.3。

3. 钢筋混凝土房屋抗震等级的确定，尚应符合下列要求：

(1) 设置少量抗震墙的框架结构

在规定的水平力作用下，底层框架部分所承担的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的50%时，其框架的抗震等级应按框架结构确定，抗震墙的抗震等级可与其框架的抗震等级相同。

注：底层指计算嵌固端所在的层。

(2) 裙房抗震等级

裙房与主楼相连时，除应按裙房本身确定抗震等级外，相关范围不应低于主楼的抗震等级；主楼结构在裙房顶板对应的相邻上下各一层应适当加强抗震构造措施。裙房与主楼分离时，应按裙房本身确定抗震等级。

(3) 地下室顶板

当地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，地下一层的抗震等级应与上部结构相同，地下一层以下抗震构造措施的抗震等级可逐层降低一级，但不应低于四级。地下室中无上部结构的部分，抗震构造措施的抗震等级可根据具体情况采用三级或四级。

(4) 当甲乙类建筑按规定提高一度确定其抗震等级而房屋高度超过表15-20相应规定的上限时，应采取比一级更有效的抗震构造措施。

4. 钢筋混凝土房屋需要设置防震缝时，应符合下列规定：

(1) 防震缝宽度应分别符合下列要求：

1) 框架结构（包括设置少量抗震墙的框架结构）房屋的防震缝宽度，当高度不超过15m时不应小于100mm；高度超过15m时，6度、7度、8度和9度分别每增加高度5m、4m、3m和2m，宜加宽20mm；

2）框架-抗震墙结构房屋的防震缝宽度不应小于第1）条规定数值的70%，抗震墙结构房屋的防震缝宽度不应小于第1）条规定数值的50%；且均不宜小于100mm；

3）防震缝两侧结构类型不同时，宜按需要较宽防震缝的结构类型和较低房屋高度确定缝宽。

（2）8、9度框架结构房屋防震缝两侧结构层高相差较大时，防震缝两侧框架柱的箍筋应沿房屋全高加密，并可根据需要在缝两侧沿房屋全高各设置不少于两道垂直于防震缝的抗撞墙，通过抗撞墙的损坏减少防震缝两侧碰撞时框架的破坏。

5. 框架、抗震墙应双向设置及对单跨框架结构的规定

框架结构和框架-抗震墙结构中，框架和抗震墙均应双向设置，柱中线与抗震墙中线、梁中线与柱中线之间偏心距大于柱宽的1/4时，应计入偏心的影响。

甲、乙类建筑以及高度大于24m的丙类建筑，不应采用单跨框架结构；高度不大于24m的丙类建筑不宜采用单跨框架结构。

例15-20　(12-94) 下列关于现行《建筑抗震设计规范》对现浇钢筋混凝土房屋采用单跨框架结构时的要求，正确的是：

A　甲、乙类建筑以及高度大于24m的丙类建筑，不应采用单跨框架结构；高度不大于24m的丙类建筑不宜采用单跨框架结构

B　框架结构某个主轴方向有局部单跨框架应视为单跨框架结构

C　框架-抗震墙结构中不应布置单跨框架结构

D　一、二层连廊采用单跨框架结构不需考虑加强

提示： 甲、乙类建筑以及高度大于24m的丙类建筑，不应采用单跨框架结构；高度不大于24m的丙类建筑，不宜采用单跨框架结构。

答案： A

规范：《抗震规范》第6.1.5条及条文说明。

6. 楼屋盖的长宽比或剪力墙间距限值

框架-抗震墙、板柱-抗震墙结构以及框支层中，抗震墙之间无大洞口的楼、屋盖的长宽比或剪力墙间距，不宜超过表15-27或表15-28（高层混凝土结构）的规定；超过时，应计入楼盖平面内变形的影响。

抗震墙之间楼屋盖的长宽比　　表15-27

楼、屋盖类型		设防烈度			
		6	7	8	9
框架-抗震墙结构	现浇或叠合楼、屋盖	4	4	3	2
	装配整体式楼、屋盖	3	3	2	不宜采用
板柱-抗震墙结构的现浇楼、屋盖		3	3	2	—
框支层的现浇楼、屋盖		2.5	2.5	2	—

剪力墙间距（m）　　表 15-28

楼盖形式	非抗震设计（取较小值）	抗震设防烈度		
		6 度、7 度（取较小值）	8 度（取较小值）	9 度（取较小值）
现　浇	5.0B，60	4.0B，50	3.0B，40	2.0B，30
装配整体	3.5B，50	3.0B，40	2.5B，30	—

注：1. 表中 B 为剪力墙之间的楼盖宽度（m）；
2. 装配整体式楼盖的现浇层应符合《高层混凝土规程》第 3.6.2 条的有关规定；
3. 现浇层厚度大于 60mm 的叠合楼板可作为现浇板考虑；
4. 当房屋端部未布置剪力墙时，第一片剪力墙与房屋端部的距离，不宜大于表中剪力墙间距的 1/2。

【要点】楼、屋盖平面内的变形，会影响楼层水平地震剪力的作用，为使楼、屋盖具有传递水平地震剪力的刚度，在不同烈度下抗震墙之间不同类型楼、屋盖的长宽比有限值要求。

例 15-21　(11-83) 钢筋混凝土框架-剪力墙结构在 8 度抗震设计中，剪力墙的间距取值：

A　与楼面宽度成正比　　B　与楼面宽度成反比

C　与楼面宽度无关　　D　与楼面宽度有关，且不超过规定限值

提示：对钢筋混凝土框-剪结构剪力墙的间距取值与楼盖形式、抗震设防烈度及剪力墙间距之间的楼盖宽度有关，同时还应满足剪力墙间距的限值。

答案：D

规范：《抗震规范》第 6.1.6 条表 6.1.6 及《高层混凝土规程》第 8.1.8 条表 8.1.8。

7. 装配整体式楼、屋盖的可靠连接

采用装配整体式楼、屋盖时，应采取措施保证楼、屋盖的整体性及其与抗震墙的可靠连接。装配整体式楼、屋盖采用配筋现浇面层加强时，其厚度不应小于 50mm。

8. 剪力墙（高层混凝土结构）设置基本要求

（1）平面布置宜简单、规则，宜沿两个主轴方向或其他方向双向布置，两个方向的侧向刚度不宜相差过大。抗震设计时，不应采用仅单向有墙的结构布置。

（2）宜自下至上连续布置，避免刚度突变。

（3）门窗洞口宜上下对齐、成列布置，形成明确的墙肢和连梁；宜避免造成墙肢宽度相差悬殊的洞口设置。抗震设计时，一、二、三级剪力墙的底部加强部位不宜采用上下洞口不对齐的错洞墙，全高均不宜采用洞口局部重叠的叠合错洞墙。

（4）剪力墙不宜过长，较长剪力墙宜设置跨高比较大的连梁，将其分成长度较均匀的若干墙段，各墙段的高度与墙段长度之比不宜小于 3，墙段长度不宜大于 8。

（5）抗震墙的两端（不包括洞口两侧）宜设置端柱或与另一方向的抗震墙相连；框支部分落地墙的两端（不包括洞口两侧）应设置端柱或与另一方向的抗震墙相连，框支结构示意图见图 15-10。

（6）楼梯间宜设置剪力墙，但不宜造成较大的扭转效应。

注：不同结构的抗震墙设置要求详见《抗震规范》第6.1.8、6.1.9条。

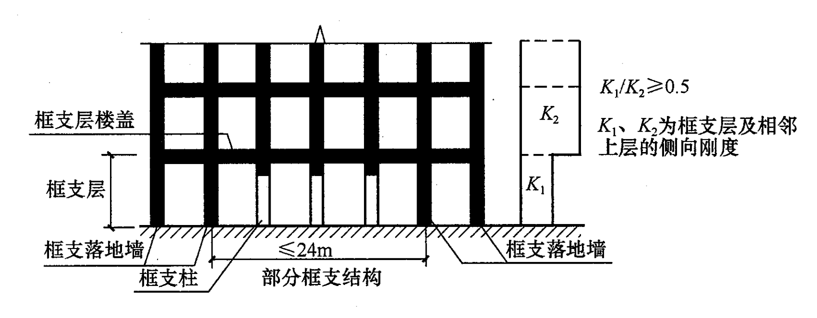


图15-10　框支结构示意图

9. 抗震墙底部加强部位的范围应符合下列规定：

(1) 底部加强部位的高度，应从地下室顶板算起。

(2) 部分框支抗震墙结构的抗震墙，其底部加强部位的高度，可取框支层加框支层以上两层的高度及落地抗震墙总高度的1/10二者的较大值。

其他结构的抗震墙，房屋高度大于24m时，底部加强部位的高度可取底部两层和墙体总高度的1/10二者的较大值；房屋高度不大于24m时，底部加强部位可取底部一层。

(3) 当结构计算嵌固端位于地下一层的底板或以下时，底部加强部位尚宜向下延伸到计算嵌固端。

10. 框架单独柱基有下列情况之一时，宜沿两个主轴方向设置基础系梁：

(1) 一级框架和Ⅳ类场地的二级框架；

(2) 各柱基础底面在重力荷载代表值作用下的压应力差别较大；

(3) 基础埋置较深，或各基础埋置深度差别较大；

(4) 地基主要受力层范围内存在软弱黏性土层、液化土层和严重不均匀土层；

(5) 桩基承台之间。

11. 抗震墙基础的设置要求：

框架-抗震墙结构、板柱-抗震墙结构中的抗震墙基础和部分框支抗震墙结构的落地抗震墙基础，应有良好的整体性和抗转动的能力。

12. 主楼与裙房相连且采用天然地基，除应符合第一节四、(二)（天然地基和基础）的4条规定外，在多遇地震作用下，主楼基础底面尚不宜出现零应力区。

13. 地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，应符合下列要求：

(1) 地下室顶板应避免开设大洞口；地下室在地上结构相关范围的顶板应采用现浇梁板结构，相关范围以外的地下室顶板宜采用现浇梁板结构；其楼板厚度不宜小于180mm，混凝土强度等级不宜小于C30，应采用双层双向配筋，且每层每个方向的配筋率不宜小于0.25%。

(2) 结构地上一层的侧向刚度，不宜大于相应范围地下一层侧向刚度的0.5倍；地下室周边宜有与其顶板相连的抗震墙。

14. 楼梯间应符合下列要求：

(1) 宜采用现浇钢筋混凝土楼梯。

(2) 对于框架结构，楼梯间的布置不应导致结构平面特别不规则；楼梯构件与主体结

构整浇时，应计入楼梯构件对地震作用及其效应的影响，应进行楼梯构件的抗震承载力验算；宜采取构造措施，减少楼梯构件对主体结构刚度的影响。

（3）楼梯间两侧填充墙与柱之间应加强拉结。

15. 框架的填充墙应符合本节非结构构件的规定。

16. 高强混凝土结构抗震设计应符合《抗震规范》附录B的规定。

17. 预应力混凝土结构抗震设计应符合《抗震规范》附录C的规定。

【要点】

◆抗震墙是主要抗侧力构件，是抗震作用下的主要耗能构件。其竖向布置应连续，防止刚度和承载力突变，要求抗震墙的两端（不包括洞口两侧）宜设置端柱，或与另一方向的抗震墙相连，互为翼墙。

◆抗震墙的长度与高宽比要求如下：

—墙段长度不宜大于8m。大于8m时，较长的抗震墙吸收较多的地震作用。地震时，一旦长墙肢破坏，则其他墙肢难以承担。

—细高的抗震墙容易设计成弯曲破坏的延性抗震墙，从而可以避免墙的剪切脆性破坏，所以要求各墙段的高宽比不宜小于3。

◆实际工程中对较长剪力墙可通过开设施工洞的方式设置跨高比较大的连梁，将其分成长度较小、较为均匀的联肢墙。

◆对于开洞的抗震墙即联肢墙，连梁是连接各墙肢协同工作的关键构件。作为联肢抗震墙的第一道防线，抗震设计时按“强墙肢、弱连梁”的设计原则，使连梁屈服先于墙肢；按“强剪弱弯”原则使梁端出现弯曲屈服塑性铰，以耗散地震能量，具有较大的延性。

例 15-22 **（09-77）** 钢筋混凝土抗震墙设置约束边缘构件的目的，下列哪一种说法是不正确的？

A 提高延性性能　　B 加强对混凝土的约束

C 提高抗剪承载力　　D 防止底部纵筋首先屈服

提示： 抗震墙两端和洞口两侧应设置边缘构件，边缘构件包括暗柱、端柱和翼墙；目的是使墙肢端部成为箍筋约束混凝土，提高受压变形能力，有助于防止底部纵筋首先屈服，提高构件的延性和耗能能力。

答案： C

规范：《抗震规范》第6.4.5条及条文说明第6.4.5条。《高层混凝土规程》第7.2.14、15条文说明。

（二）框架的基本抗震构造措施

1. 梁的截面尺寸

（1）框架梁宜符合下列各项要求：

截面宽度不宜小于200mm；高层建筑结构主梁截面高度可按计算跨度的1/18～1/10确定；截面高宽比不宜大于4；净跨与截面高度之比不宜小于4。

（2）梁宽大于柱宽的扁梁应符合下列要求：

采用扁梁的楼、屋盖应现浇，梁中线宜与柱中线重合，扁梁应双向布置。扁梁不宜用

于一级框架结构。

2. 柱的截面尺寸，宜符合下列各项要求：

（1）截面的宽度和高度，四级或不超过 2 层时不宜小于 300mm，一、二、三级且超过 2 层时不宜小于 400mm；圆柱的直径，四级或不超过 2 层时不宜小于 350mm，一、二、三级且超过 2 层时不宜小于 450mm。

（2）剪跨比 $\lambda=M/(V\cdot h_0)$ 宜大于 2。

（3）截面长边与短边的边长比不宜大于 3。

3. 柱轴压比不宜超过表 15-29 的规定；建造于Ⅳ类场地且较高的高层建筑，柱轴压比限值应适当减小。

柱轴压比限值　　表 15-29

结构类型	抗震等级			
	一	二	三	四
框架结构	0.65	0.75	0.85	0.90
框架-抗震墙，板柱-抗震墙、框架-核心筒及筒中筒	0.75	0.85	0.90	0.95
部分框支抗震墙	0.6	0.7	—	

注：轴压比指柱组合的轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值。

【要点】

◆ 合理控制混凝土结构构件的尺寸是规范的基本要求之一：

—梁的截面尺寸，应综合考虑建筑功能及整个框架结构中梁、柱的相互关系；在各项满足规范要求的前提下，适当减小框架梁的高度；

—控制柱的最小截面尺寸不能过小，有利于实现强柱弱梁、强剪弱弯的设计目标，提高框架结构的抗震性能。

◆ 轴压比限值。对建筑师来讲，掌握轴压比的概念比记住具体限值更重要。

限制框架柱的轴压比主要是为了保证柱的塑性变形能力和保证框架的抗倒塌能力，非抗震设计的柱子不受轴压比限制。剪力墙同样有轴压比要求。

（三）抗震墙结构的基本抗震构造措施

1. 抗震墙的厚度

（1）抗震墙的厚度

一、二级不应小于 160mm 且不宜小于层高或无支长度的 1/20；三、四级不应小于 140mm 且不宜小于层高或无支长度的 1/25；

无端柱或翼墙时，一、二级不宜小于层高或无支长度的 1/16；三、四级不宜小于层高或无支长度的 1/20。

（2）底部加强部位的墙厚

一、二级不应小于 200mm 且不宜小于层高或无支长度的 1/16；三、四级不应小于 160mm 且不宜小于层高或无支长度的 1/20；

无端柱或翼墙时，一、二级不宜小于层高或无支长度的 1/12，三、四级不宜小于层高或无支长度的 1/16。

抗震墙厚度要求见表15-30，可据此了解抗震墙厚度的影响因素与最小厚度要求。

抗震墙最小厚度（mm） **表15-30**

抗震墙部位	抗震等级	抗震墙最小厚度及与层高或无支长度的关系		
		最小厚度	端部有端柱或翼墙	端部无端柱或翼墙
一般部位	一、二级	160	$l/20$	$l/16$
	三、四级	140	$l/25$	$l/20$
底部加强部位	一、二级	200	$l/16$	$l/12$
	三、四级	160	$l/20$	$l/16$

注："l"为层高或抗震墙的无支长度，指沿抗震墙长度方向外两道有效横向支撑墙之间的长度。

2. 抗震墙肢的轴压比

一、二、三级抗震墙在重力荷载代表值作用下墙肢的轴压比，一级时，9度不宜大于0.4，7、8度不宜大于0.5；二、三级时不宜大于0.6。

3. 抗震墙两端和洞口两侧应设置边缘构件，边缘构件包括暗柱、端柱和翼墙，并应符合规范要求。

4. 抗震墙的墙肢长度不大于墙厚的3倍时，应按柱的有关要求进行设计；矩形墙肢的厚度不大于300mm时，尚宜全高加密箍筋。

5. 跨高比较小的高连梁，可设水平缝形成双连梁、多连梁或采取其他加强受剪承载力的构造。顶层连梁的纵向钢筋伸入墙体的锚固长度范围内，应设置箍筋。

【要点】

◆抗震墙，包括抗震墙结构、框架-抗震墙结构、板柱-抗震墙结构及筒体结构中的抗震墙，是这些结构体系的主要抗侧力构件，具有"大震不倒"及震后易于修复的特点。

◆设置边缘约束构件的根本目的在于对抗震墙提供约束作用，因此有边缘构件约束的抗震墙与无边缘构件约束的抗震墙相比，极限承载力约提高40%、极限层间位移角约增加一倍，对地震能量的消耗能力增大20%左右，且有利于墙板的稳定。

◆对框支结构，抗震墙的底部加强部位受力很大，抗震要求应加强。

◆短肢剪力墙是指截面厚度不大于300mm，各肢截面高度与厚度之比的最大值大于4但不大于8的抗震墙。注意抗震设计时，高层建筑结构不应全部采用短肢剪力墙。

例15-23 （11-98）抗震设计的钢筋混凝土剪力墙结构中，在地震作用下的主要耗能构件为下列何项？

A 一般剪力墙　　B 短肢剪力墙　　C 连梁　　D 楼板

提示：抗震设计时，钢筋混凝土剪力墙结构体系中主要抗侧力构件是抗震墙，在剪力墙结构中连梁是抗震的第一道防线，是主要耗能构件，是弱构件。还应注意，框架-抗震墙结构体系中，相对于框架，抗震墙是第一道防线。

答案：C

（四）框架-抗震墙结构的基本抗震构造措施

框架-抗震墙结构是具有多道防线的抗震结构系统，抗震墙作为框架-抗震墙结构体系第一道防线的主要抗侧力构件，需要比一般的抗震墙有所加强。

1. 框架-抗震墙结构的抗震墙厚度和边框设置

(1) 抗震墙的厚度不应小于 160mm 且不宜小于层高或无支长度的 1/20，底部加强部位的抗震墙厚度不应小于 200mm 且不宜小于层高或无支长度的 1/16。

(2) 有端柱时，墙体在楼盖处宜设置暗梁，暗梁的截面高度不宜小于墙厚和 400mm 的较大值；端柱截面宜与同层框架柱相同，并应满足上述（二）对框架柱的要求。

2. 抗震墙的竖向和横向分布钢筋，应双排布置，双排分布钢筋间应设置拉筋。

3. 楼面梁与抗震墙平面外连接时，不宜支承在洞口连梁上；沿梁轴线方向宜设置与梁连接的抗震墙，梁的纵筋应锚固在墙内；也可在支承梁的位置设置扶壁柱或暗柱，并应按计算确定其截面尺寸和配筋。

4. 框架-抗震墙结构的其他抗震构造措施，应符合上述（二）（框架）及（三）（抗震墙结构）的相关要求。

注：设置少量抗震墙的框架结构，其抗震墙的抗震构造措施，可仍按上述（三）对抗震墙的规定执行。

（五）板柱-抗震墙结构抗震设计要求

1. 板柱-抗震墙结构的抗震墙，其抗震构造措施应符合本节规定，尚应符合（四）（框架-抗震墙）的有关规定；柱（包括抗震墙端柱）和梁的抗震构造措施应符合（二）（框架）的有关规定。

2. 板柱-抗震墙的结构布置，尚应符合下列要求：

(1) 抗震墙厚度不应小于 180mm，且不宜小于层高或无支长度的 1/20；房屋高度大于 12m 时，墙厚不应小于 200mm。

(2) 房屋的周边应采用有梁框架，楼、电梯洞口周边宜设置边框梁。

(3) 8 度时宜采用有托板或柱帽的板柱节点，托板或柱帽根部的厚度（包括板厚）不宜小于柱纵筋直径的 16 倍，托板或柱帽的边长不宜小于 4 倍板厚和柱截面对应边长之和。

(4) 房屋的地下一层顶板，宜采用梁板结构。

3. 板柱-抗震墙结构的板柱节点应进行冲切承载力的抗震验算。

4. 板柱-抗震墙结构的板柱节点构造应符合下列要求：

(1) 无柱帽平板应在柱上板带中设构造暗梁。

(2) 板柱节点应根据抗冲切承载力要求，配置抗剪栓钉或抗冲切钢筋。

【要点】

◆板柱-抗震墙结构系指楼层平面除周边框架柱间有梁，楼梯间有梁，内部多数柱之间不设梁，主要抗侧力结构为抗震墙或核心筒。

◆应优先考虑采用有托板或柱帽的板柱节点，有利于提高结构承受竖向荷载的能力并改善结构的抗震性能。

◆板柱节点应进行冲切承载力的抗震验算，抗剪栓钉的抗冲切效果优于抗冲切钢筋。

（六）筒体结构抗震设计要求

筒体结构包括框架-核心筒结构及筒中筒结构。

1. 框架-核心筒结构应符合下列要求：

(1) 核心筒与框架之间的楼盖宜采用梁板体系；部分楼层采用平板体系时应有加强措施。

（2）加强层的设置应符合下列规定：

1）9 度时不应采用加强层；

2）加强层的大梁或桁架应与核心筒内的墙肢贯通；大梁或桁架与周边框架柱的连接宜采用铰接或半刚性连接；

3）结构整体分析应计入加强层变形的影响；

4）施工程序及连接构造，应采取措施减小结构竖向温度变形及轴向压缩对加强层的影响。

2. 框架-核心筒结构的核心筒、筒中筒结构的内筒，其抗震墙除应符合上述（三）（抗震墙）的有关规定外，尚应符合下列要求：

（1）抗震墙的厚度、竖向和横向分布钢筋应符合上述（四）（框架-抗震墙）的规定；筒体底部加强部位及相邻上一层，当侧向刚度无突变时，不宜改变墙体厚度。

（2）框架-核心筒结构一、二级筒体角部的边缘构件宜按下列要求加强：

底部加强部位，约束边缘构件范围内宜全部采用箍筋，且约束边缘构件沿墙肢的长度宜取墙肢截面高度的 1/4；底部加强部位以上的全高范围内宜按转角墙的要求设置约束边缘构件。

（3）内筒的门洞不宜靠近转角。

3. 楼面大梁不宜支承在内筒连梁上，楼面大梁与内筒或核心筒墙体平面外连接时，应符合上述（四）第 3 条的规定。

4. 跨高比小的连梁，可采用斜向交叉暗柱配筋，这可以改变其抗剪性能。

5. 筒体结构转换层的抗震设计应符合《抗震规范》附录 E 第 E. 2 节的规定。

【要点】

◆ 框架-核心筒是指楼层平面周边稀柱框架之间有梁，内部设有核心筒（抗震墙和连梁围合成筒，核心筒可以是单筒，也可以是多个单筒的组合筒），当仅有一部分主要承受竖向荷载的柱不设梁时，此类结构属于框架-核心筒结构。

◆ 加强层设置要求

—框架-核心筒结构的核心筒与周边框架之间采用梁板结构时，各层梁对核心筒有一定的约束，可不设加强层，梁与核心筒的连接应避开核心筒的连梁；

—当楼层采用平板结构且核心筒较柔，在地震作用下不能满足变形要求，或筒体由于受弯产生拉力时，宜设置加强层，其部位应结合建筑功能设置；

—为了避免加强层周边框架柱在地震作用下由于强梁带来的不利影响，加强层的大梁和桁架与周边框架不宜刚性连接；

—9 度时不应采用加强层。

◆ 框架-核心筒结构的核心筒、筒中筒结构的内筒设置要求

都是由抗震墙组成的结构的主要抗侧力竖向构件，其抗震构造措施应符合《抗震规范》相应的规定，包括墙的最小厚度、分布钢筋的配置、轴压比限值、边缘构件的要求等，以使筒体具有足够大的抗震能力。

◆ 框架-核心筒结构设置要求

—核心筒宜贯通建筑物全高。核心筒的宽度不宜小于筒体总高的 1/12，当筒体结构设置角筒、剪力墙或增强结构整体刚度的构件时，核心筒宽度可适当减小；

—核心筒应具有良好的整体性，墙肢宜均匀、对称布置；

—筒体角部附近不宜开洞，当不可避免时，筒角内壁至洞口的距离不应小于 500mm 和开洞墙截面厚度的较大值；

—框架-核心筒结构的周边柱间必须设置框架梁。

◆ 筒中筒结构设置要求

—筒中筒结构的平面外形宜选用圆形、正多边形、椭圆形或矩形等，内筒宜居中；

—矩形平面的长宽比不宜大于 2；

—内筒的宽度可为高度的 1/12～1/15，如有另外的角筒或剪力墙时，内筒尺寸可适当减小。内筒宜贯通建筑物全高。竖向刚度宜均匀变化；

—三角形平面宜切角，外筒的切角长度不宜小于相应边长的 1/8，其角部可设置刚度较大的角柱或角筒；内筒的切角长度不宜小于相应边长的 1/10，切角处的筒壁宜适当加厚；

—外框筒应符合下列要求：

柱距不宜大于 4m，框筒柱的截面长边应沿筒壁方向布置，必要时可用 T 形截面；

洞口面积不宜大于墙面面积的 60%，洞口高宽比宜与层高和柱距的比值相近；

外框筒梁的截面高度可取柱净距的 1/4；

角柱截面面积可取中柱的 1～2 倍。

例 15-24　(13-80) 关于由中央剪力墙内筒和周边外框筒组成的筒中筒结构的说法，错误的是：

A　平面宜选用方形、圆形和正多边形，采用矩形平面时长宽比不宜大于 2

B　高度不宜低于 80m，高宽比不宜小于 3

C　外框筒巨型柱宜采用截面短边沿筒壁方向布置，柱距不宜大于 4m

D　外框筒洞口面积不宜大于墙面面积的 60%

提示： 对筒中筒结构，外框筒巨型柱的截面长边（而非短边）应沿筒壁方向布置，这样才能使结构的空间作用更大，必要时可采用 T 形截面，柱距不宜大于 4m。

答案： C

规范：《高层混凝土规程》第 9.3.5 条第 1、2 款、第 9.1.2 条、第 9.3.2 条。

（七）复杂高层建筑结构抗震设计要求

1.《高层混凝土规程》的有关规定：

（1）《高层混凝土规程》第十章对复杂高层建筑结构的规定适用于带转换层的结构、带加强层的结构、错层结构、连体结构以及竖向体型收进、悬挑结构。

（2）9 度抗震设计时不应采用带转换层的结构、带加强层的结构、错层结构和连体结构。

（3）7 度和 8 度抗震设计时，剪力墙结构错层高层建筑的房屋高度分别不宜大于 80m 和 60m；框架-剪力墙结构错层高层建筑的房屋高度分别不应大于 80m 和 60m。抗震设计时，B 级高度高层建筑不宜采用连体结构；底部带转换层的 B 级高度筒中筒结构，当外筒框支层以上采用由剪力墙构成的壁式框架时，其最大适用高度应比表 15-22 规定的数值适当降低。

（4）7度和8度抗震设计的高层建筑不宜同时采用超过两种上述（1）条所规定的复杂高层建筑结构。

【要点】

◆ 9度抗震设计时可采用竖向体型收进和悬挑结构，但带转换层的结构、带加强层的结构、错层结构、连体结构等，在地震作用下受力复杂，容易形成抗震薄弱部位，不应采用。

◆ 错层结构受力复杂，在地震作用下易形成多处薄弱部位，应对房屋高度加以限制。区分不同类型的错层高层建筑，区分局部错层与错层结构。

◆ 复杂高层建筑结构均属不规则结构。在同一个工程中采用两种以上这类复杂结构，在地震作用下易形成多处薄弱部位，故不宜同时采用。

2. 带转换层高层建筑结构

（1）在高层建筑结构的底部，当上部楼层部分竖向构件（剪力墙、框架柱）不能直接连贯落地时，应设置结构转换层，形成带转换层高层建筑结构。

《高层混凝土规程》第10.2节对带托墙转换层的剪力墙结构（部分框支剪力墙结构）及带托柱转换层的筒体结构的设计做出规定。

（2）带转换层的高层建筑结构，其剪力墙底部加强部位的高度应从地下室顶板算起，宜取至转换层以上两层且不宜小于房屋高度的1/10。

（3）转换层上部与下部结构的侧向刚度变化应符合《高层混凝土规程》附录E的规定。

（4）转换结构构件可采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱形结构、斜撑等；非抗震设计和6度抗震设计时可采用厚板，7、8度抗震设计时地下室的转换结构构件可采用厚板。

（5）部分框支剪力墙结构在地面以上设置转换层的位置，8度时不宜超过3层，7度时不宜超过5层，6度时可适当提高。

（6）带转换层的高层建筑，其抗震等级应符合《高层混凝土规程》第3.9节的有关规定，带托柱转换层的筒体结构，其转换柱和转换梁的抗震等级按部分框支剪力墙结构中的框支框架采纳。对部分框支剪力墙结构，当转换层的位置设置在3层及3层以上时，其框支柱、剪力墙底部加强部位的抗震等级宜按规定提高一级采用，已为特一级时可不提高。

（7）转换梁设计应满足下列要求：

1）转换梁与转换柱的截面中线宜重合。

2）转换梁截面高度不宜小于计算跨度的1/8。托柱转换梁截面宽度不应小于其上所托柱在梁宽方向的截面宽度。框支梁截面宽度不宜大于框支柱相应方向的截面宽度，且不宜小于其上墙体截面厚度的2倍和400mm的较大值。

3）转换梁不宜开洞。若必须开洞时，洞口边离开支座柱边的距离不宜小于梁截面高度；被洞口削弱的截面应进行承载力计算，因开洞形成的上、下弦杆应加强纵向钢筋和抗剪箍筋的配置。

（8）转换层上部的竖向抗侧力构件（墙、柱）宜直接落在转换层的主要转换构件上。

（9）转换柱设计应满足规范要求：

柱截面宽度，非抗震设计时不宜小于400mm，抗震设计时不应小于450mm；柱截面高度，非抗震设计时不宜小于转换梁跨度的1/15，抗震设计时不宜小于转换梁跨度的

1/12。

(10) 转换梁、柱的节点核心区应进行抗震验算，节点应符合构造措施的要求。

(11) 箱形转换结构上、下楼板厚度均不宜小于180mm，应根据转换柱的布置和建筑功能要求设置双向横隔板。

(12) 厚板设计应符合下列规定：

1) 转换厚板的厚度可由抗弯、抗剪、抗冲切截面验算确定。

2) 转换厚板可局部做成薄板，薄板与厚板交界处可加腋；转换厚板亦可局部做成夹心板。

3) 转换厚板上、下一层的楼板应适当加强，楼板厚度不宜小于150mm。

(13) 采用空腹桁架转换层时，空腹桁架宜满层设置，应有足够的刚度。

(14) 部分框支剪力墙结构的布置应符合下列规定：

1) 落地剪力墙和筒体底部墙体应加厚；

2) 框支柱周围楼板不应错层布置；

3) 落地剪力墙和筒体的洞口宜布置在墙体的中部；

4) 框支梁上一层墙体内不宜设置边门洞，也不宜在框支中柱上方设置门洞；

5) 落地剪力墙间距应符合限值规定。

(15) 部分框支剪力墙结构的剪力墙底部加强部位，墙体两端宜设置翼墙或端柱。抗震设计时应按规范规定设置约束边缘构件。

(16) 部分框支剪力墙结构的落地剪力墙基础应有良好的整体性和抗转动的能力。

(17) 部分框支剪力墙结构框支梁上部墙体的构造应符合下列规定：

当梁上部的墙体开有边门洞时（图15-11），洞边墙体宜设置翼墙、端柱或加厚，并应按约束边缘构件的要求进行配筋设计；当洞口靠近梁端部且梁的受剪承载力不满足要求时，可采取框支梁加腋或增大框支墙洞口连梁刚度等措施。

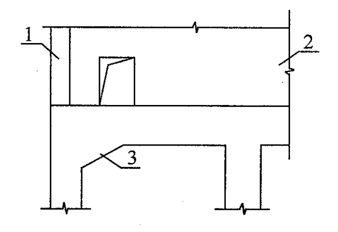


图15-11 框支梁上墙体有边门洞时洞边墙体的构造要求
1—翼墙或端柱；2—剪力墙；3—框支梁加腋

(18) 部分框支剪力墙结构中，框支转换层楼板厚度不宜小于180mm，应双层双向配筋。落地剪力墙和筒体外围的楼板不宜开洞。

【要点】

◆转换厚板在地震区使用经验较少，仅在非地震区和6度设防地区采用。对于大空间地下室，因周围有约束作用，地震反应不明显，故7、8度地区可采用厚板转换层。

◆转换层位置较高时，更易使框支剪力墙结构在转换层附近的刚度、内力发生突变，并易形成薄弱层，因此转换层位置较高的高层建筑不利于抗震。

◆转换梁承受较大的剪力，尤其是转换梁端部剪力最大的部位开洞的影响更为不利，因此限制转换梁上开洞，并规定梁上洞口避开转换梁端部，洞口部位要加强配筋构造。

◆在竖向及水平荷载作用下，框支梁上部的墙体在多个部位会出现较大的应力集中，这些部位的剪力墙容易发生破坏，因此对这些部位的剪力墙规定了多项加强措施。

◆框支转换层楼板是重要的传力构件，为保证楼板能可靠传递面内相当大的剪力（和

弯矩），规定了转换层楼板截面尺寸要求、抗剪承载力验算、楼板平面内受弯承载力验算和配筋构造要求。其他结构的楼（屋）板层同样是重要的传力构件，同样需要有足够的刚度和加强措施保证结构的整体性，只是不同结构、不同位置的楼（屋）板层具体要求的措施有所不同。

例 15-25　（08-108） 部分框支剪力墙高层建筑，对在地面以上设大空间转换结构的描述，下列哪项不正确？

A　6 度抗震设计时转换构件可采用厚板

B　7 度抗震设计时转换构件不宜超过 5 层

C　8 度抗震设计时转换构件不宜超过 4 层

D　9 度抗震设计时不应采用带转换层的结构

提示： 部分框支剪力墙带大空间转换层的高层建筑，属于复杂高层建筑结构。对转换层的设计要求，规范有具体规定如下：

（1）转换结构构件可采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱形结构、斜撑等。

（2）非抗震设计和 6 度抗震设计时可采用厚板；7 度、8 度抗震设计的地下室的转换结构可采用厚板。

（3）部分框支剪力墙结构在地面以上设置转换层的位置，8 度设防时不宜超过 3 层，7 度时不宜超过 5 层，6 度时其层数可适当提高。

（4）9 度抗震设计时不应采用带转换层的结构、带加强层的结构、错层结构、连体结构以及竖向体型收进、悬挑结构。

综上分析，题中 C 选项“8 度时……不宜超过 4 层”错误，应为“第 3 层”。

答案： C

规范：《高层混凝土规程》第 10.2.4 条、第 10.2.5 条及第 10.2.1 条。

例 15-26　（08-117） 框支剪力墙结构设计时，下列哪一条规定是不正确的？

A　抗震设计时，框支柱的截面宽度不应小于 450mm

B　抗震设计时，框支柱的截面高度不应大于框支梁跨度的 1/12

C　剪力墙底部加强部位，墙体两端宜设置翼墙或端柱

D　转换层楼板的厚度不宜小于 180mm

提示： 框支柱截面宽度，非抗震时不宜小于 400mm，抗震设计时不应小于 450mm；柱截面高度，非抗震设计时不宜小于转换梁跨度的 1/15，抗震设计时不宜小于转换梁跨度的 1/12，B 选项中“不应大于”应为“不宜小于”，故 B 错误；

部分框支剪力墙结构的剪力墙底部加强部位，墙体两端宜设置翼墙或端柱。

框支转换层楼板厚度不宜小于 180mm。

答案： B

规范：《高层混凝土规程》第 10.2.11 条第 1 款、第 10.2.20、10.2.23 条。

3. 带加强层高层建筑结构

（1）当框架-核心筒、筒中筒结构的侧向刚度不能满足要求时，可利用建筑避难层、设备层空间，设置适宜刚度的水平伸臂构件，形成带加强层的高层建筑结构。必要时，加

强层也可同时设置周边水平环带构件。水平伸臂构件、周边环带构件可采用斜腹杆桁架、实体梁、箱形梁、空腹桁架等形式。

（2）带加强层高层建筑结构设计应符合下列规定：

1）应合理设计加强层的数量、刚度和设置位置。当布置 1 个加强层时，可设置在 0.6 倍房屋高度附近；当布置 2 个加强层时，可分别设置在顶层和 0.5 倍房屋高度附近；当布置多个加强层时，宜沿竖向从顶层向下均匀布置。

2）加强层水平伸臂构件宜贯通核心筒，其平面布置宜位于核心筒的转角、T 形节点处；水平伸臂构件与周边框架的连接宜采用铰接或半刚接；结构内力和位移计算中，设置水平伸臂桁架的楼层宜考虑楼板平面内的变形。

3）加强层及其相邻层的框架柱、核心筒应加强配筋构造。

4）加强层及其相邻层楼盖的刚度和配筋应加强。

5）在施工程序及连接构造上应采取减小结构竖向温度变形及轴向压缩差的措施，结构分析模型应能反映施工措施的影响。

（3）抗震设计时，带加强层高层建筑结构应符合下列要求：

1）加强层及其相邻层的框架柱、核心筒剪力墙的抗震等级应提高一级采用，一级应提高至特一级，但抗震等级已经为特一级时应允许不再提高。

2）加强层及其相邻层的框架柱，箍筋应全柱加密配置，轴压比限值应按其他楼层框架柱的数值减小 0.05 采用。

3）加强层及其邻层核心筒剪力墙应设置约束边缘构件。

例 15-27　（13-86） 关于钢筋混凝土框架-核心筒的加强层设置，下列说法错误的是：

A　布置 1 个加强层时，可设置在 0.6 倍房屋高度附近

B　布置 2 个加强层时，分别设置在房屋高度的 1/3 和 2/3 处效果最好

C　布置多个加强层时，宜沿竖向从顶层向下均匀设置

D　不宜布置过多的加强层

提示： 带加强层的高层建筑应合理设计加强层的数量、刚度和设置位置，才能有利于减少结构的侧移。当布置 2 个加强层时，可分别设置在顶层和 0.5 倍房屋高度附近。

答案： B

规范：《高层混凝土规程》第 10.3.2 条第 1 款。

4. 错层结构

（1）抗震设计时，高层建筑沿竖向宜避免错层布置。当房屋不同部位因功能不同而使楼层错层时，宜采用防震缝划分为独立的结构单元。

（2）错层两侧宜采用结构布置和侧向刚度相近的结构体系。

（3）错层结构中，错开的楼层不应归并为一个刚性楼板。

（4）抗震设计时，错层处框架柱应符合下列要求：

1）截面高度不应小于 600mm，混凝土强度等级不应低于 C30，箍筋应全柱段加密配置；

2）抗震等级应提高一级采用，一级应提高至特一级，但抗震等级已经为特一级时应允许不再提高。

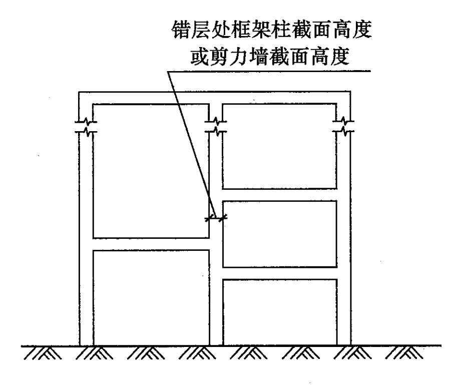


图 15-12　错层结构加强部位示意

（5）在设防烈度地震作用下，错层处框架柱的截面承载力宜符合规程要求。

（6）错层处平面外受力的剪力墙的截面厚度，非抗震设计时不应小于 200mm，抗震设计时不应小于 250mm，并均应设置与之垂直的墙肢或扶壁柱；抗震设计时，其抗震等级应提高一级采用。错层处剪力墙的混凝土强度等级不应低于 C30，配筋率应满足规范要求。

错层结构在错层处的构件如图 15-12 所示，要采取加强措施。

5. 连体结构

（1）连体结构各独立部分宜有相同或相近的体型、平面布置和刚度；宜采用双轴对称的平面形式。7 度、8 度抗震设计时，层数和刚度相差悬殊的建筑不宜采用连体结构。

（2）7 度（0.15g）和 8 度抗震设计时，连体结构的连接体应考虑竖向地震的影响。

（3）6 度和 7 度（0.10g）抗震设计时，高位连体结构的连接体宜考虑竖向地震的影响。

（4）连接体结构与主体结构宜采用刚性连接。

刚性连接时，连接体结构的主要结构构件应至少伸入主体结构一跨并可靠连接；必要时可延伸至主体部分的内筒，并与内筒可靠连接。

当连接体结构与主体结构采用滑动连接时，支座滑移量应能满足两个方向在罕遇地震作用下的位移要求，并应采取防坠落、撞击措施。罕遇地震作用下的位移要求，应采用时程分析方法进行计算复核。

（5）刚性连接的连接体结构可设置钢梁、钢桁架、型钢混凝土梁，型钢应伸入主体结构至少一跨并可靠锚固。连接体结构的边梁截面宜加大；楼板厚度不宜小于 150mm，宜采用双层双向钢筋网，每层每方向钢筋网的配筋率不宜小于 0.25%。

当连接体结构包含多个楼层时，应特别加强其最下面一个楼层及顶层的构造设计。

（6）抗震设计时，连接体及与连接体相连的结构构件应符合下列要求：

1）连接体及与连接体相连的结构构件在连接高度范围及其上、下层，抗震等级应提高一级采用，一级提高至特一级，但抗震等级已经为特一级时应允许不再提高。

2）与连接体相连的框架柱在连接体高度范围及其上、下层，箍筋应全柱段加密配置，轴压比限值应按其他楼层框架柱的数值减小 0.05 采用。

3）与连接体相连的剪力墙在连接体高度范围及其上、下层应设置约束边缘构件。

（7）刚性连接的连接体楼板应进行受剪截面和承载力验算。

【要点】

◆连体结构的连体部分一般跨度大、位置较高，对竖向地震的反应比较敏感，放大效应明显，因此抗震设计时高烈度区应考虑竖向地震的不利影响。

◆连体结构的连体部位受力复杂，连体部分的跨度一般也较大，推荐采用刚性连接

的连体方式，要保证连体部分与两侧主体结构的可靠连接，强调对连体部位楼板的要求。

也可采用滑动连接方式。当采用滑动连接时，连接体往往由于滑移量较大，致使支座发生破坏，因此增加了对采用滑动连接时的防坠落措施要求。

◆连体结构的连接体及与连接体相连的结构构件受力复杂，易形成薄弱部位，抗震设计时必须予以加强，以提高抗震承载力和延性。

例 15-28　(13-100) 抗震设防的钢筋混凝土高层连体结构，下列说法错误的是：

A　连体结构各独立部分宜有相同或相近的体形、平面布置和刚度，宜采用双轴对称的平面形式

B　7 度、8 度抗震设计时，层数和刚度相差悬殊的建筑不宜采用连体结构

C　7 度(0.15g)和 8 度抗震设计时，连体结构的连接体应考虑竖向地震的影响

D　连体结构与主体结构不宜采用刚性连接，不应采用滑动连接

提示： 高层连体结构的连体部位受力复杂，连体部分的跨度也较大，因此要保证连体部分与两侧主体结构的可靠连接，推荐采用刚性连接的连体形式，也可采用滑动连接。采用滑动连接时，应采取防坠落、撞击措施等要求。

答案： D

规范：《高层混凝土规程》第 10.5.1 条、第 10.5.2 条、第 10.5.4 条。

6. 竖向体型收进、悬挑结构

对于多塔结构、竖向体型收进和悬挑结构，其共同的特点就是结构侧向刚度沿竖向发生剧烈变化，在变化部位往往产生结构的薄弱部位。

（1）多塔楼结构以及体型收进、悬挑程度超过图 15-9 图示限值的竖向不规则高层建筑结构应遵守本条的规定。

（2）多塔楼结构以及体型收进、悬挑结构，竖向体型突变部位的楼板宜加强，楼板厚度不宜小于 150mm，宜双层双向配筋，每层每方向钢筋网的配筋率不宜小于 0.25%。体型突变部位上、下层结构的楼板也应加强构造措施。

（3）抗震设计时，多塔楼高层建筑结构应符合下列规定：

1）各塔楼的层数、平面和刚度宜接近；塔楼对底盘宜对称布置；上部塔楼结构的综合质心与底盘结构质心距离不宜大于底盘相应边长的 20%。

2）转换层不宜设置在底盘屋面的上层塔楼内。

3）塔楼中与裙房相连的外围柱、剪力墙，从固定端至裙房屋面上一层的高度范围内，柱纵向钢筋的最小配筋率宜适当提高，剪力墙宜按规范规定设置边缘构件，柱箍筋宜在裙房屋面上、下层的范围内全高加密；当塔楼结构相对于底盘结构偏心收进时，应加强底盘周边竖向构件的配筋构造措施。

（4）悬挑结构设计应符合下列规定：

1）悬挑部位应采取降低结构自重的措施。

2）悬挑部位结构宜采取冗余度较高的结构形式。

3）7 度（0.15g）和 8、9 度抗震设计时，悬挑结构应考虑竖向地震的影响；6、7 度抗震设计时，悬挑结构宜考虑竖向地震的影响。

4）抗震设计时，悬挑结构的关键构件以及与之相邻的主体结构关键构件的抗震等级宜提高一级采用，一级提高至特一级，抗震等级已经为特一级时，允许不再提高。

（5）体型收进高层建筑结构、底盘高度超过房屋高度 20%的多塔楼结构的设计应符合下列规定：

1）体型收进处宜采取措施减小结构刚度的变化，上部收进结构的底部楼层层间位移角不宜大于相邻下部区段最大层间位移角的 1.15 倍。

2）抗震设计时，体型收进部位上、下各 2 层塔楼周边竖向结构构件的抗震等级宜提高一级采用，一级提高至特一级，抗震等级已经为特一级时，允许不再提高。

3）结构偏心收进时，应加强收进部位以下 2 层结构周边竖向构件的配筋构造措施。

【要点】

◆ 多塔楼结构各塔楼的层数、平面和刚度宜接近；塔楼对底盘宜对称布置，减小塔楼和底盘的刚度偏心。

◆ 转换层宜设置在底盘楼层范围内，不宜设置在底盘以上的塔楼内（图 15-13）。

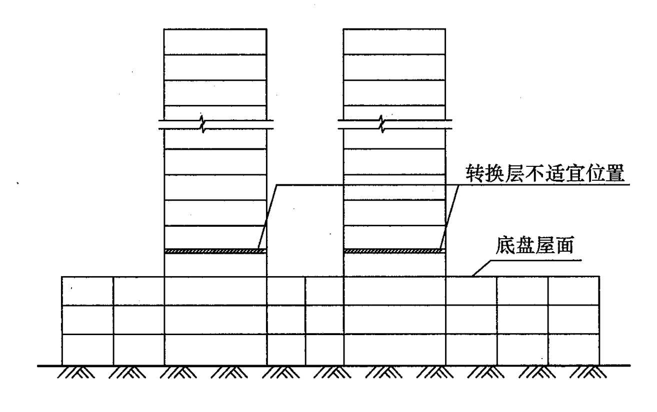


图 15-13　多塔楼结构转换层不适宜位置示意

◆ 为保证结构底盘与塔楼的整体作用，裙房屋面加厚并加强配筋，裙房屋面上、下结构的楼板也应采取加强措施，加强部位见图 15-14。

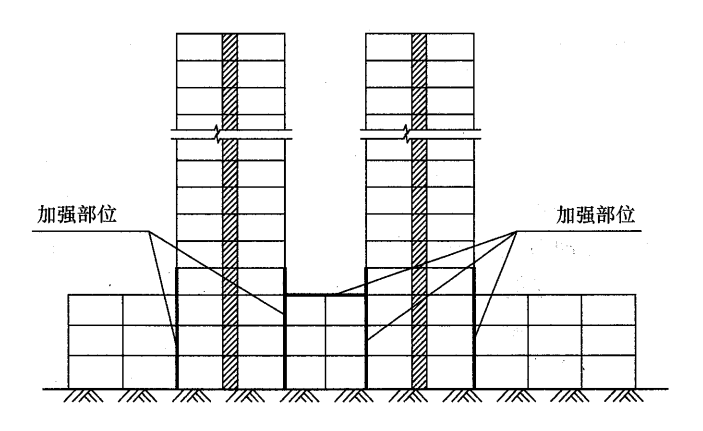


图 15-14　多塔楼结构加强部位示意

◆ 悬挑结构一般竖向刚度较差、结构的冗余度不高，因此需要采取措施降低结构自

重、增加结构的冗余度，并进行竖向地震作用的验算，且应提高悬挑关键构件的承载力和抗震措施，防止相关部位在竖向地震作用下发生结构的倒塌。

◆结构体型收进较多或位置较高时，因上部结构刚度突然降低，其收进部位形成薄弱部位，因此在收进的相邻部位应采取更高的抗震措施，见图 15-15。

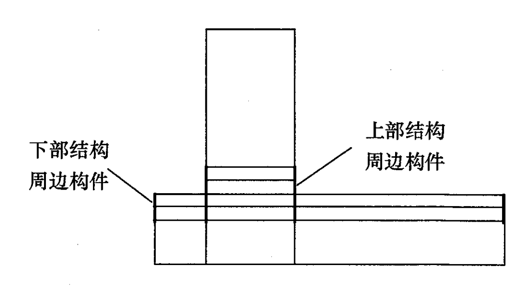


图 15-15　体型收进结构的加强部位示意

例 15-29　(13-98) 抗震设防的钢筋混凝土大底盘上的多塔楼高层建筑结构，下列说法正确的是：

A　整体地下室与上部两个或两个以上塔楼组成的结构是多塔楼结构

B　各塔楼的层数、平面和刚度宜相近，塔楼对底盘对称布置

C　当裙房的面积和刚度相对塔楼较大时，高宽比按地面以上高度与塔楼宽度计算

D　转换层结构可设置在塔楼的任何部位

提示： 合理的建筑形体和布置在抗震设计中是头等重要的，B 选项“各塔楼的层数、平面和刚度宜相近，塔楼对底盘对称布置”说法正确。

答案： B

规范：《高层混凝土规程》第 2.1.15 条、第 10.6.3 条第 1、2、3 款及条文说明第 3.3.2 条。

二、多层砌体房屋和底部框架砌体房屋

砌体结构指普通砖（包括烧结砖、蒸压砖、混凝土普通砖）、多孔砖（包括烧结砖、混凝土多孔砖）和混凝土小型空心砌块等砌体承重的多层房屋，底层或底部两层框架-抗震墙砌体房屋。

（一）多层砌体房屋的震害特点

砌体结构是由砖或砌块砌筑而成的，材料呈脆性性质，其抗剪、抗拉和抗弯强度较低，所以抗震性能较差，在强烈地震作用下，破坏率较高，破坏的主要部位是墙身和构件间连接处，主要破坏特点如下：

1. 在水平地震作用下，与水平地震作用方向平行的墙体是主要承担地震作用的构件，这时墙体将因主拉应力强度不足而发生剪切破坏，出现 45°对角线裂缝，在地震反复作用下造成 X 形交叉裂缝，这种裂缝表现在砌体房屋上是下部重，上部轻；房屋的层数越多，破坏越重；横墙越少，破坏越重；墙体砂浆强度等级越低，破坏越重；层高越高，破坏越重；墙段长短不均匀布置时，破坏也多。

2. 墙体转角处及内外墙连接处的破坏

墙体转角或连接处，刚度大，应力集中，易破坏，尤其是四大阳角处，还受到扭转的影响，更容易发生破坏。内外墙连接处，有时由于内外墙分开砌筑或留直槎等原因，地震时造成外纵墙外闪、倒塌。

3. 楼盖的破坏

砌体结构中有相当多的楼板采用预制板，当楼板的搁置长度较小或无可靠拉结时，在强烈地震作用下很容易造成楼板塌落，并造成墙体倒塌。

4. 突出屋面的屋顶间等附属结构破坏

在砌体房屋中，突出屋顶的水箱间，楼电梯间及烟囱、女儿墙等附属结构，由于地震作用的鞭端效应，一般破坏较重；尤其女儿墙极易倒塌，产生次生灾害。

例 15-30　(09-87) 在地震作用下砖砌体的窗间墙易产生交叉裂缝，其破坏机理是：

A　弯曲破坏　　B　受压破坏　　C　受拉破坏　　D　剪切破坏

提示： 砌体结构在地震作用和竖向荷载作用下，产生斜向的复合主拉应力，其破坏机理是剪切破坏。因地震作用是反复作用的，所以产生的开裂是交叉裂缝。

答案： D

（二）抗震设计一般规定

1. 多层房屋的层数和总高度限制

（1）多层砌体房屋的层数和总高度

一般情况下，房屋的层数和总高度不应超过表 15-31 的规定。

房屋的层数和总高度限值（m）　　表 15-31

房屋类别		最小抗震墙厚度（mm）	烈度和设计基本地震加速度											
			6		7				8				9	
			0.05g		0.10g		0.15g		0.20g		0.30g		0.40g	
			高度	层数	高度	层数	高度	层数	高度	层数	高度	层数	高度	层数
多层砌体房屋	普通砖	240	21	7	21	7	21	7	18	6	15	5	12	4
	多孔砖	240	21	7	21	7	18	6	18	6	15	5	9	3
	多孔砖	190	21	7	18	6	15	5	15	5	12	4	—	—
	小砌块	190	21	7	21	7	18	6	18	6	15	5	9	3
底部框架-抗震墙砌体房屋	普通砖 多孔砖	240	22	7	22	7	19	6	16	5	—	—	—	—
	多孔砖	190	22	7	19	6	16	5	13	4	—	—	—	—
	小砌块	190	22	7	22	7	19	6	16	5	—	—	—	—

注：1. 房屋的总高度指室外地面到主要屋面板板顶或檐口的高度，半地下室从地下室室内地面算起，全地下室和嵌固条件好的半地下室应允许从室外地面算起；对带阁楼的坡屋面应算到山尖墙的 1/2 高度处；

2. 室内外高差大于 0.6m 时，房屋总高度应允许比表中的数据适当增加，但增加量应少于 1.0m；

3. 乙类的多层砌体房屋仍按本地区设防烈度查表，其层数应减少一层且总高度应降低 3m；不应采用底部框架-抗震墙砌体房屋；

4. 本表小砌块砌体房屋不包括配筋混凝土小型空心砌块砌体房屋。

（2）横墙较少的多层砌体房屋，总高度应比表 15-31 的规定降低 3m，层数相应减少一层；各层横墙很少的多层砌体房屋，还应再减少一层。

注：横墙较少是指同一楼层内开间大于 4.2m 的房间占该层总面积的 40%以上；其中，开间不大于 4.2m 的房间占该层总面积不到 20%且开间大于 4.8m 的房间占该层总面积的 50%以上为横墙很少。

“横墙很少”的房屋，一般为教学楼中全部为教室的多层砌体房屋或食堂、俱乐部和会议楼等。

(3) 6、7 度时，横墙较少的丙类多层砌体房屋，当按规定采取加强措施并满足抗震承载力要求时，其高度和层数应允许仍按表 15-31 的规定采用。

(4) 采用蒸压灰砂砖和蒸压粉煤灰砖的砌体的房屋，当砌体的抗剪强度仅达到普通黏土砖砌体的 70%时，房屋的层数应比普通砖房减少一层，总高度应减少 3m；当砌体的抗剪强度达到普通黏土砖砌体的取值时，房屋层数和总高度的要求同普通砖房屋。

(5) 多层砌体承重房屋的层高不应超过 3.6m。

底部框架-抗震墙砌体房屋的底部，层高不应超过 4.5m；当底层采用约束砌体抗震墙时，底层的层高不应超过 4.2m，见表 15-32。

注：当使用功能确有需要时，采用约束砌体等加强措施的普通砖房屋，层高不应超过 3.9m。

多层砌体承重房屋的层高 **表 15-32**

房屋类型	层高限值	层高位置
多层砌体承重房屋	不应超过 3.6m	房屋层高
底部框架-抗震墙砌体房屋的底部	不应超过 4.5m	底部层高
底层采用约束砌体抗震墙	不应超过 4.2m	底层层高
普通砖房屋（采用约束砌体等加强措施）	不应超过 3.9m	使用功能确有需要时采用

【要点】

◆ *砌体结构不同于钢筋混凝土结构，主要通过对建筑高度及楼层数量等的限制来实现抗震设计的基本要求，多层砌体房屋层数和总高度的规定见表 15-33。*

多层砌体房屋层数和总高度的规定 **表 15-33**

砌体结构情况	规范具体规定	总高度减少	层数减少
一般情况	普通多层砌体房屋、底部框架-抗震墙砌体房屋	不减	不减
横墙较少	开间大于 4.2m 的房间占该层总面积的 40%以上	减 3m	减 1 层
	6、7 度时丙类房屋（按规定满足规范要求时）	允许不减	允许不减
横墙很少	大于 4.2m 的房间占该层总面积不到 20%且开间大于 4.8m 的房间占该层总面积的 50%以上	减 3m	减 2 层
乙类房屋	仍按本地区查表	减 3m	减 1 层
蒸压灰砂砖和蒸压粉煤灰砖	砌体抗剪强度仅达到普通黏土砖砌体的 70%时	减 3m	减 1 层
	砌体抗剪强度达到普通黏土砖砌体的取值时	不减	不减

◆ *多层砌体承重房屋的层高见表 15-32。*

例 15-31 **(13-91)** 多层砌体房屋，其主要抗震措施是：

A 限制高度和层数

B 限制房屋的高跨比

C 设置构造柱和圈梁

D 限制墙段的最小尺寸，并规定横墙最大间距

提示：砌体结构的高度限制，是十分敏感且深受关注的规定，基于砌体材料的脆性性质和震害经验，限制其层数和高度是主要的抗震措施。

答案：A

规范：《抗震规范》第 7.1.2 条及条文说明。

例 15-32　(09-111) 已知 7 度区普通砖砌体房屋的最大高度 H 为 21m，最高层数 n 为 7 层，则 7 度区某普通砖砌体教学楼工程（各层横墙较少）的 H 和 n 应为下列何值？

A　$H=21\text{m}$，$n=7$　　B　$H=18\text{m}$，$n=6$

C　$H=18\text{m}$，$n=5$　　D　$H=15\text{m}$，$n=5$

提示：已知基本条件：7 度区普通砖砌体房屋高度不应超过 21m，层数不应超过 7 层。两个特殊情况：一是中小学教学楼属于乙类建筑，高度应降低 3m 且层数减少一层；二是各层横墙较少，总高度还应比规定值降低 3m 且层数减少一层，因此总高度 $H=21-3-3=15\text{m}$；最高层数 $n=7-1-1=5$ 层，故 D 正确。

答案：D

规范：《抗震规范》第 7.1.2 条第 1、2 款及表 7.1.2。

2. 多层砌体房屋总高度与总宽度的最大比值，宜符合表 15-34 的要求。

房屋最大高宽比　　表 15-34

烈　度	6	7	8	9
最大高宽比	2.5	2.5	2.0	1.5

注：1. 单面走廊房屋的总宽度不包括走廊宽度；

2. 建筑平面接近正方形时，其高宽比宜适当减小。

【要点】

◆房屋高宽比的限值要求，是为了控制结构中不出现弯曲破坏，保证房屋的稳定性，从而可以对砌体结构的整体倾覆不做验算。

◆作为以剪切变形为主的砌体结构，应尽量避免弯曲变形的产生，当房屋的高宽比满足限值要求时，可避免在房屋底部出现水平裂缝，即不出现弯曲破坏。

◆一般砌体房屋建筑平面是矩形，对方形建筑"高宽比宜适当减小"，其根本目的在于控制建筑物出现房屋两个方向的高宽比同时接近表中最大值的不利情形。

例 15-33　(08-91) 多层砌体房屋抗震设计时，下列说法哪一项是不对的？

A　单面走廊房屋的总宽度不包括走廊宽度

B　建筑平面接近正方形时，其高宽比限值可适当加大

C　对带阁楼的坡屋面，房屋总高度应算到山尖墙的 1/2 高度处

D　房屋的顶层，最大横墙间距应允许适当放宽

提示：根据抗震规范要求，单面走廊房屋的总宽度不包括走廊宽度；当建筑平面接近正方形时，其高宽比可适当减小；多层砌体房屋的顶层，除木屋盖外的最大横墙间距应允许适当放宽，但应采取相应的加强措施。

答案：B

规范：《抗震规范》第7.1.4条表7.1.4注、第7.1.2条表7.1.2注1、第7.1.5条表7.1.5注1.

3. 房屋抗震横墙的间距不应超过表15-35的要求。

房屋抗震横墙的间距（m） **表15-35**

房屋类别			烈度			
			6	7	8	9
多层砌体房屋	现浇或装配整体式钢筋混凝土楼、屋盖		15	15	11	7
	装配式钢筋混凝土楼、屋盖		11	11	9	4
	木屋盖		9	9	4	—
底部框架-抗震墙砌体房屋		上部各层	同多层砌体房屋			—
		底层或底部两层	18	15	11	—

注：1. 多层砌体房屋的顶层，除木屋盖外的最大横墙间距应允许适当放宽，但应采取相应加强措施；
2. 多孔砖抗震横墙厚度为190mm时，最大横墙间距应比表中数值减少3m。

4. 多层砌体房屋中砌体墙段的局部尺寸限值，宜符合表15-36的要求。

房屋的局部尺寸限值（m） **表15-36**

部位	6度	7度	8度	9度
承重窗间墙最小宽度	1.0	1.0	1.2	1.5
承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.2	1.5
非承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.0	1.0
内墙阳角至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.5	2.0
无锚固女儿墙（非出入口处）的最大高度	0.5	0.5	0.5	0.0

注：1. 局部尺寸不足时，应采取局部加强措施弥补，且最小宽度不宜小于1/4层高和表列数据的80%；
2. 出入口处的女儿墙应有锚固。

5. 多层砌体房屋的建筑布置和结构体系，应符合下列要求：

（1）应优先采用横墙承重或纵横墙共同承重的结构体系。不应采用砌体墙和混凝土墙混合承重的结构体系。

（2）纵横向砌体抗震墙的布置应符合下列要求：

1）宜均匀对称，沿平面内宜对齐，沿竖向应上下连续；且纵横向墙体的数量不宜相差过大；

2）平面轮廓凹凸尺寸，不应超过典型尺寸的50%；当超过典型尺寸的25%时，房屋转角处应采取加强措施；

3）楼板局部大洞口的尺寸不宜超过楼板宽度的30%，且不应在墙体两侧同时开洞；

4）房屋错层的楼板高差超过500mm时，应按两层计算；错层部位的墙体应采取加强措施；

5）同一轴线上的窗间墙宽度宜均匀；在满足上面第 4 条要求的前提下，墙面洞口的立面面积，6、7 度时不宜大于墙面总面积的 55%，8、9 度时不宜大于 50%；

6）在房屋宽度方向的中部应设置内纵墙，其累计长度不宜小于房屋总长度的 60%（高宽比大于 4 的墙段不计入）。

（3）房屋有下列情况之一时宜设置防震缝，缝两侧均应设置墙体，缝宽应根据烈度和房屋高度确定，可采用 70～100mm（设防烈度高、房屋高度大时取较大值）：

1）房屋立面高差在 6m 以上；

2）房屋有错层，且楼板高差大于层高的 1/4；

3）各部分结构刚度、质量截然不同。

（4）楼梯间不宜设置在房屋的尽端或转角处。

（5）不应在房屋转角处设置转角窗。

（6）横墙较少、跨度较大的房屋，宜采用现浇钢筋混凝土楼、屋盖。

6. 底部框架-抗震墙砌体房屋的结构布置，应符合下列要求：

（1）上部的砌体墙体与底部的框架梁或抗震墙，除楼梯间附近的个别墙段外均应对齐。

（2）房屋的底部，应沿纵横两方向设置一定数量的抗震墙，并应均匀对称布置。各类抗震墙的设置规定见表 15-37：

底部框架-抗震墙砌体结构中各类抗震墙的适用范围　　表 15-37

设置条件	底部框架抗震墙的类型
6 度且总层数不超过 4 层时	允许采用嵌砌于框架之间的约束普通砌体抗震墙或小砌块砌体的砌体抗震墙，同一方向不应同时采用钢筋混凝土抗震墙和约束砌体抗震墙
6、7 度时	应采用钢筋混凝土抗震墙或配筋小砌块砌体抗震墙
8 度时	应采用钢筋混凝土抗震墙

（3）底部框架-抗震墙砌体房屋的抗震墙应设置条形基础、筏形基础等整体性好的基础。

7. 底部框架-抗震墙砌体房屋的钢筋混凝土结构部分，除应符合《抗震规范》第 7 章（砌体结构）的规定外，尚应符合规范第 6 章（钢筋混凝土结构）的有关要求；此时，底部混凝土框架的抗震等级，6、7、8 度应分别按三、二、一级采用；混凝土墙体的抗震等级，6、7、8 度应分别按三、三、二级采用。

【要点】

◆ 砌体结构中的墙体是抗震中的主要抗侧力构件，墙体的多少直接决定了砌体结构的抗震能力的大小。纵墙长度相对较长，因此只规定了横墙的间距限值。控制了横墙的间距，也就确保了纵墙的稳定性。

◆ 多层砌体房屋的横向地震作用主要由横墙承担，地震中横墙间距大小对房屋倒塌影响很大，不仅横墙须具有足够的承载力，同时要求楼盖须具有传递地震作用给横墙的水平刚度，因此横墙间距的规定是为了满足楼盖对传递水平地震作用所需的刚度要求。

◆ 砌体房屋局部尺寸的限制，在于防止这些部位的失效而造成整栋结构的破坏甚至倒塌。

◆纵墙承重的结构布置方案，因横向支承较少，纵墙较易受弯曲破坏而导致倒塌，为此应优先采用横墙承重或纵横墙共同承重的结构布置方案；纵横墙均匀对称布置，可使各墙垛受力基本相同，避免薄弱部位的破坏。

◆楼梯间墙体缺少各层楼板的侧向支承，布置时尽量不设在尽端或采取专门的加强措施。

◆不应采用混凝土墙与砌体墙混合承重的体系，防止不同材料性能的墙体被各个击破。

◆底部框架-抗震墙砌体结构房屋的抗震设计，既要满足砌体结构房屋抗震的一般规定，也要满足多高层钢筋混凝土结构抗震的有关规定。

例 15-34 (12-102) 按现行《建筑抗震设计规范》，对底部框架-抗震墙砌体房屋结构的底部抗震墙要求，下列表述正确的是：

A 6度设防且总层数不超过六层时，允许采用嵌砌于框架之间的约束普通砖砌体或小砌块砌体的砌体抗震墙

B 7度、8度设防时，应采用钢筋混凝土抗震墙或配筋小砌块砌体抗震墙

C 上部砌体墙与底部的框架梁或抗震墙可不对齐

D 应沿纵横两个方向，均匀、对称设置一定数量符合规定的抗震墙

提示：底部框架-抗震墙砌体房屋的结构房屋底部，应沿纵横两方向设置一定数量的抗震墙，并应均匀对称布置。

答案：D

规范：《抗震规范》第7.1.8条第1、2款。

例 15-35 (14-95) 关于抗震设计的底部框架-抗震墙砌体房屋结构的说法，正确的是：

A 抗震设防烈度6～8度的乙类多层房屋可采用底部框架-抗震墙砌体结构

B 底部框架-抗震墙砌体房屋指底层或底部两层为框架-抗震墙结构的多层砌体房屋

C 房屋的底部应沿纵向或横向设置一定数量抗震墙

D 上部砌体墙与底部框架梁或抗震墙宜对齐

提示：底部框架-抗震墙砌体房屋指底层或底部两层为框架-抗震墙结构的多层砌体房屋，B选项表述正确。

乙类的多层房屋不应采用底部框架-抗震墙砌体房屋，A选项错误。

其结构布置房屋的底部应沿纵横两方向设置一定数量的抗震墙，并应均匀对称布置，C选项中“沿纵向或横向”表述错误，“或”应为“和”。

上部砌体墙与底部框架梁或抗震墙，除楼梯间附近的个别墙段外均应对齐，D选项表述错误，“宜对齐”应为“应对齐”。

答案：B

规范：《抗震规范》第7.1.1条、第7.1.2条表注3、第7.1.8条第1、2款。

（三）多层砖砌体房屋抗震构造措施

【要点】砌体结构房屋的抗震构造重点是圈梁和构造柱的设置。震害调查和实践证明，

圈梁和构造柱共同设置，能增加砌体的延性和变形能力，且可提高砌体的抗侧能力和整体性，从而保证砌体房屋在大震下，裂而不倒；设置构造柱还能提高砌体的抗剪承载力及墙体在使用阶段的稳定性和刚度。

1. 现浇钢筋混凝土构造柱（以下简称构造柱）设置要求

（1）构造柱设置部位，一般情况下应符合表 15-38 的要求。

（2）外廊式和单面走廊式的多层房屋，应根据房屋增加一层的层数，按表 15-38 的要求设置构造柱，且单面走廊两侧的纵墙均应按外墙处理。

（3）横墙较少的房屋，应根据房屋增加一层的层数，按表 15-38 的要求设置构造柱。当横墙较少的房屋为外廊式或单面走廊式时，应按第（2）款的要求设置构造柱；但 6 度不超过四层、7 度不超过三层和 8 度不超过二层时，应按增加二层的层数对待。

（4）各层横墙很少的房屋，应按增加二层的层数设置构造柱。

（5）采用蒸压灰砂砖和蒸压粉煤灰砖的砌体房屋，当砌体的抗剪强度仅达到普通黏土砖砌体的 70%时，应根据增加一层的层数按本条（1）～（4）款的要求设置构造柱；但 6 度不超过四层、7 度不超过三层和 8 度不超过二层时，应按增加二层的层数对待。

多层砖砌体房屋构造柱设置要求　　表 15-38

<table>
<tr><th colspan="4">房屋层数</th><th colspan="2" rowspan="2">设 置 部 位</th></tr>
<tr><th>6 度</th><th>7 度</th><th>8 度</th><th>9 度</th></tr>
<tr><td>四、五</td><td>三、四</td><td>二、三</td><td></td><td rowspan="3">楼、电梯间四角，楼梯斜梯段上下端对应的墙体处；
外墙四角和对应转角；
错层部位横墙与外纵墙交接处；
大房间内外墙交接处；
较大洞口两侧</td><td>隔 12m 或单元横墙与外纵墙交接处；
楼梯间对应的另一侧内横墙与外纵墙交接处</td></tr>
<tr><td>六</td><td>五</td><td>四</td><td>二</td><td>隔开间横墙（轴线）与外墙交接处；
山墙与内纵墙交接处</td></tr>
<tr><td>七</td><td>≥六</td><td>≥五</td><td>≥三</td><td>内墙（轴线）与外墙交接处；
内墙的局部较小墙垛处；
内纵墙与横墙（轴线）交接处</td></tr>
</table>

注：较大洞口，内墙指不小于 2.1m 的洞口；外墙在内外墙交接处已设置构造柱时应允许适当放宽，但洞侧墙体应加强。

2. 多层砖砌体房屋构造柱的构造要求

（1）构造柱最小截面可采用 180mm×240mm（墙厚 190mm 时为 180mm×190mm），纵向钢筋宜采用 $4\phi12$，箍筋间距不宜大于 250mm，且在柱上下端应适当加密；6、7 度时超过六层、8 度时超过五层和 9 度时，构造柱纵向钢筋宜采用 $4\phi14$，箍筋间距不应大于 200mm；房屋四角的构造柱应适当加大截面及配筋。

（2）构造柱与墙连接处应砌成马牙槎，沿墙高每隔 500mm 设 $2\phi6$ 水平钢筋和 $\phi4$ 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或 $\phi4$ 点焊钢筋网片，每边伸入墙内不宜小于 1m。6、7 度时底部 1/3 楼层，8 度时底部 1/2 楼层，9 度时全部楼层，上述拉结钢筋网片应沿墙体水平通长设置。

（3）构造柱与圈梁连接处，构造柱的纵筋应在圈梁纵筋内侧穿过，保证构造柱纵筋上下贯通。

（4）构造柱可不单独设置基础，但应伸入室外地面下 500mm，或与埋深小于 500mm 的基础圈梁相连。

（5）房屋高度和层数接近表 15-31 的限值时，纵、横墙内构造柱间距尚应符合下列要求：

1）横墙内的构造柱间距不宜大于层高的二倍；下部 1/3 楼层的构造柱间距适当减小；

2）当外纵墙开间大于 3.9m 时，应另设加强措施。内纵墙的构造柱间距不宜大于 4.2m。

3. 多层砖砌体房屋的现浇钢筋混凝土圈梁设置要求

（1）装配式钢筋混凝土楼、屋盖或木屋盖的砖房，应按表 15-39 的要求设置圈梁；纵墙承重时，抗震横墙上的圈梁间距应比表内要求适当加密。

（2）现浇或装配整体式钢筋混凝土楼、屋盖与墙体有可靠连接的房屋，应允许不另设圈梁，但楼板沿抗震墙体周边均应加强配筋并应与相应的构造柱钢筋可靠连接。

多层砖砌体房屋现浇钢筋混凝土圈梁设置要求　　表 15-39

墙　类	烈　　度		
	6、7	8	9
外墙和内纵墙	屋盖处及每层楼盖处	屋盖处及每层楼盖处	屋盖处及每层楼盖处
内横墙	同上； 屋盖处间距不应大于 4.5m； 楼盖处间距不应大于 7.2m； 构造柱对应部位	同上； 各层所有横墙，且间距不应大于 4.5m； 构造柱对应部位	同上； 各层所有横墙

4. 多层砖砌体房屋现浇混凝土圈梁构造要求

（1）圈梁应闭合，遇有洞口圈梁应上下搭接。圈梁宜与预制板设在同一标高处或紧靠板底。

（2）圈梁在上述第 3 条要求的间距内无横墙时，应利用梁或板缝中配筋替代圈梁。

（3）圈梁的截面高度不应小于 120mm，配筋应符合表 15-40 的要求；对不良地基土要求增设的基础圈梁，截面高度不应小于 180mm，配筋不应少于 $4\phi12$。

多层砖砌体房屋圈梁配筋要求　　表 15-40

配　筋	烈　度		
	6、7	8	9
最小纵筋	$4\phi10$	$4\phi12$	$4\phi14$
箍筋最大间距（mm）	250	200	150

5. 多层砖砌体房屋的楼、屋盖设置要求

（1）现浇钢筋混凝土楼板或屋面板伸进纵、横墙内的长度，均不应小于 120mm。

（2）装配式钢筋混凝土楼板或屋面板，当圈梁未设在板的同一标高时，板端伸进外墙的长度不应小于 120mm，伸进内墙的长度不应小于 100mm 或采用硬架支模连接，在梁上不应小于 80mm 或采用硬架支模连接。

（3）当板的跨度大于 4.8m 并与外墙平行时，靠外墙的预制板侧边应与墙或圈梁

拉结。

（4）房屋端部大房间的楼盖，6度时房屋的屋盖和7～9度时房屋的楼、屋盖，当圈梁设在板底时，钢筋混凝土预制板应相互拉结，并应与梁、墙或圈梁拉结。

6. 楼、屋盖的钢筋混凝土梁或屋架应与墙、柱（包括构造柱）或圈梁可靠连接；不得采用独立砖柱。跨度不小于6m大梁的支承构件应采用组合砌体等加强措施，并满足承载力要求。

7. 6、7度时长度大于7.2m的大房间，以及8、9度时外墙转角及内外墙交接处，应沿墙高每隔500mm配置2ϕ6的通长钢筋和ϕ4分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或ϕ4点焊网片。

8. 楼梯间设置要求

（1）顶层楼梯间墙体应沿墙高每隔500mm设2ϕ6通长钢筋和ϕ4分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或ϕ4点焊网片；7～9度时其他各层楼梯间墙体应在休息平台或楼层半高处设置60mm厚、纵向钢筋不应少于2ϕ10的钢筋混凝土带或配筋砖带，配筋砖带不少于3皮，每皮的配筋不少于2ϕ6，砂浆强度等级不应低于M7.5且不低于同层墙体的砂浆强度等级。

（2）楼梯间及门厅内墙阳角处的大梁支承长度不应小于500mm，并应与圈梁连接。

（3）装配式楼梯段应与平台板的梁可靠连接，8、9度时不应采用装配式楼梯段；不应采用墙中悬挑式踏步或踏步竖肋插入墙体的楼梯，不应采用无筋砖砌栏板。

（4）突出屋顶的楼、电梯间，构造柱应伸到顶部，并与顶部圈梁连接，所有墙体应沿墙高每隔500mm设2ϕ6通长钢筋和ϕ4分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或ϕ4点焊网片。

9. 坡屋顶房屋的屋架应与顶层圈梁可靠连接，檩条或屋面板应与墙、屋架可靠连接，房屋出入口处的檐口瓦应与屋面构件锚固。采用硬山搁檩时，顶层内纵墙顶宜增砌支承山墙的踏步式墙垛，并设置构造柱。

10. 门窗洞处不应采用砖过梁；过梁支承长度，6～8度时不应小于240mm，9度时不应小于360mm。

11. 预制阳台，6、7度时应与圈梁和楼板的现浇板带可靠连接，8、9度时不应采用预制阳台。

12. 后砌的非承重砌体隔墙、烟道、风道、垃圾道等，应符合《抗震规范》第13.3节的有关规定。

13. 同一结构单元的基础（或桩承台），宜采用同一类型的基础，底面宜埋置在同一标高上，否则应增设基础圈梁并应按1∶2的台阶逐步放坡。

14. 丙类的多层砖砌体房屋，当横墙较少且总高度和层数接近或达到表15-31规定限值时，应采取下列加强措施：

（1）房屋的最大开间尺寸不宜大于6.6m。

（2）同一结构单元内横墙错位数量不宜超过横墙总数的1/3，且连续错位不宜多于两道；错位的墙体交接处均应增设构造柱，且楼、屋面板应采用现浇钢筋混凝土板。

（3）横墙和内纵墙上洞口的宽度不宜大于1.5m；外纵墙上洞口的宽度不宜大于2.1m或开间尺寸的一半；且内外墙上洞口位置不应影响内外纵墙与横墙的整体连接。

(4) 所有纵横墙均应在楼、屋盖标高处设置加强的现浇钢筋混凝土圈梁：圈梁的截面高度不宜小于 150mm。

(5) 所有纵横墙交接处及横墙的中部，均应增设满足下列要求的构造柱：在纵、横墙内的柱距不宜大于 3.0m，最小截面尺寸不宜小于 240mm×240mm（墙厚 190mm 时为 240mm×190mm）。

(6) 同一结构单元的楼、屋面板应设置在同一标高处。

(7) 房屋底层和顶层的窗台标高处，宜设置沿纵横墙通长的水平现浇钢筋混凝土带。

【要点】

◆构造柱能提高砌体的受剪承载力，构造柱的主要作用在于对砌体的约束，使之有较高的变形能力。构造柱一般应设置在关键部位，使一根构造柱可以发挥对多道墙的约束作用，还应设置在震害较重、连接构造比较薄弱和易于应力集中的部位。

◆圈梁能增强房屋的整体性，提高房屋的抗震能力，是抗震的有效措施。构造柱需与各层纵横墙的圈梁或现浇板连接，才能充分发挥约束作用。

◆砌体房屋楼、屋盖的抗震构造要求，包括楼板搁置长度，楼板与圈梁、墙体的拉结，屋架（梁）与墙、柱的锚固、拉结等，是保证楼、屋盖与墙体整体性的重要措施，强调楼、屋盖的整体性和完整性，确保传递水平剪力的有效性。

◆由于砌体材料的特性，较大的房间在地震中的破坏程度会加重，需要局部加强墙体的连接构造，故规范规定采用通长的拉结筋和拉结钢筋网片。

◆由于楼梯间比较空旷，破坏严重，必须采取一系列有效措施；8、9 度时不应采用装配式楼梯段。

例 15-36 **(10-117)** 关于抗震设防地区多层砌块砌体房屋圈梁设置的下列叙述，哪项不正确？

A 屋盖及每层楼盖处的外墙应设置圈梁

B 屋盖及每层楼盖处的内纵墙应设置圈梁

C 内横墙在构造柱对应部位应设置圈梁

D 屋盖处内横墙的圈梁间距不应大于 15m

提示：圈梁应闭合形成“箍”的约束作用，并与构造柱一起形成多层砌体结构的“骨架”，提高砌体结构的整体性。因此，圈梁应设置在能起到“箍”的作用的房屋关键部位，例如屋盖处及每层楼盖处，以及与构造柱对应部位，均应设置圈梁；同时，内横墙的圈梁间距也不能过大，根据烈度的不同，分别有圈梁间距不大于 4.5m 或 7.2m 的要求。故题中答案 D“不应大于 15m”错误。

答案：D

规范：《抗震规范》第 7.3.3 条表 7.3.3。

例 15-37 **(08-119)** 横墙较少的普通砖住宅楼，当层数和总高度接近《抗震规范》的限值时，所采取的加强措施中下列哪一条是不合理的？

A 房屋的最大开间尺寸不宜大于 6.6m

B 同一结构单元内横墙不能错位

C 楼、屋面板应采用现浇钢筋混凝土板

D　同一结构单元内楼、屋面板应设置在同一标高处

提示：同一结构单元内横墙错位不宜超过横墙总数的 1/3，且连续错位不宜多于两道；选项 B“不能错位”错误，要求过严。

答案：B

规范：《抗震规范》第 7.3.14 条第 1、2、6 款。

（四）多层砌块房屋抗震构造措施

为了增加混凝土小型空心砌块砌体房屋的整体性和延性，提高其抗震能力，结合空心砌块的特点，采取在墙体的适当部位设置钢筋混凝土芯柱的构造措施。这些芯柱的设置要求比砖砌体房屋构造柱的设置要求严格，且芯柱与墙体的连接要采取钢筋网片。

1. 多层小砌块房屋应按表 15-42 的要求设置钢筋混凝土芯柱。对外廊式和单面走廊式的多层房屋、横墙较少的房屋、各层横墙很少的房屋，尚应分别按上述（三）第 1 条第（2）、（3）、（4）款关于增加层数的对应要求，按表 15-41 的要求设置芯柱。

多层小砌块房屋芯柱设置要求　　**表 15-41**

房屋层数				设置部位	设置数量
6度	7度	8度	9度		
四、五	三、四	二、三		外墙转角，楼、电梯间四角，楼梯斜梯段上下端对应的墙体处； 大房间内外墙交接处； 错层部位横墙与外纵墙交接处； 隔 12m 或单元横墙与外纵墙交接处	外墙转角，灌实 3 个孔； 内外墙交接处，灌实 4 个孔； 楼梯斜段上下端对应的墙体处，灌实 2 个孔
六	五	四		同上； 隔开间横墙（轴线）与外纵墙交接处	
七	六	五	二	同上； 各内墙（轴线）与外纵墙交接处； 内纵墙与横墙（轴线）交接处和洞口两侧	外墙转角，灌实 5 个孔； 内外墙交接处，灌实 4 个孔； 内墙交接处，灌实 4～5 个孔； 洞口两侧各灌实 1 个孔
	七	≥六	≥三	同上； 横墙内芯柱间距不大于 2m	外墙转角，灌实 7 个孔； 内外墙交接处，灌实 5 个孔； 内墙交接处，灌实 4～5 个孔； 洞口两侧各灌实 1 个孔

注：外墙转角、内外墙交接处、楼电梯间四角等部位，应允许采用钢筋混凝土构造柱替代部分芯柱。

2. 多层小砌块房屋的芯柱，应符合下列构造要求：

（1）小砌块房屋芯柱截面不宜小于 120mm×120mm。

（2）芯柱混凝土强度等级，不应低于 Cb20。

（3）芯柱的竖向插筋应贯通墙身且与圈梁连接；插筋不应小于 1ϕ12，6、7 度时超过五层、8 度时超过四层和 9 度时，插筋不应小于 1ϕ14。

（4）芯柱应伸入室外地面下 500mm 或与埋深小于 500mm 的基础圈梁相连。

（5）为提高墙体抗震受剪承载力而设置的芯柱，宜在墙体内均匀布置，最大净距不宜大于 2.0m。

（6）多层小砌块房屋墙体交接处或芯柱与墙体连接处应设置拉结钢筋网片，网片可采用直径 4mm 的钢筋点焊而成，沿墙高间距不大于 600mm，并应沿墙体水平通长设置。6、7 度时底部 1/3 楼层，8 度时底部 1/2 楼层，9 度时全部楼层，上述拉结钢筋网片沿墙高间距不大于 400mm。

3. 小砌块房屋中替代芯柱的钢筋混凝土构造柱，应符合下列构造要求：

（1）构造柱截面不宜小于 190mm×190mm，纵向钢筋宜采用 4ϕ12，箍筋间距不宜大于 250mm，且在柱上下端应适当加密；6、7 度时超过五层、8 度时超过四层和 9 度时，构造柱纵向钢筋宜采用 4ϕ14，箍筋间距不应大于 200mm；外墙转角的构造柱可适当加大截面及配筋。

（2）构造柱与砌块墙连接处应砌成马牙槎，与构造柱相邻的砌块孔洞，6 度时宜填实，7 度时应填实，8、9 度时应填实并插筋。构造柱与砌块墙之间沿墙高每隔 600mm 设置 ϕ4 点焊拉结钢筋网片，并应沿墙体水平通长设置。6、7 度时底部 1/3 楼层，8 度时底部 1/2 楼层，9 度全部楼层，上述拉结钢筋网片沿墙高间距不大于 400mm。

（3）构造柱与圈梁连接处，构造柱的纵筋应在圈梁纵筋内侧穿过，保证构造柱纵筋上下贯通。

（4）构造柱可不单独设置基础，但应伸入室外地面下 500mm，或与埋深小于 500mm 的基础圈梁相连。

4. 多层小砌块房屋的现浇钢筋混凝土圈梁的设置位置应按上述（三）第 3 条多层砖砌体房屋圈梁的设置要求执行，圈梁宽度不应小于 190mm，配筋不应少于 4ϕ12，箍筋间距不应大于 200mm。

5. 多层小砌块房屋的层数，6 度时超过五层、7 度时超过四层、8 度时超过三层和 9 度时，在底层和顶层的窗台标高处，沿纵横墙应设置通长的水平现浇钢筋混凝土带。水平现浇混凝土带亦可采用槽形砌块替代模板，其纵筋和拉结钢筋不变。

6. 丙类的多层小砌块房屋，当横墙较少且总高度和层数接近或达到表 15-31 的规定限值时，应符合上述（三）第 14 条的相关要求；其中，墙体中部的构造柱可采用芯柱替代，芯柱的灌孔数量不应少于 2 孔，每孔插筋的直径不应小于 18mm。

7. 小砌块房屋的其他抗震构造措施，尚应符合上述（三）第 5～13 条的有关要求。其中，墙体的拉结钢筋网片间距应符合本节的相应规定，分别取 600mm 和 400mm。

【要点】构造柱替代芯柱，可较大程度地提高对砌块砌体的约束能力，也为施工带来方便。具体替代芯柱的构造柱基本要求，与砖房的构造柱大致相同。

（五）底部框架-抗震墙砌体房屋抗震构造措施

1. 底部框架-抗震墙砌体房屋的上部墙体应设置钢筋混凝土构造柱或芯柱，并应符合下列要求：

（1）钢筋混凝土构造柱、芯柱的设置部位，应根据房屋的总层数分别按上述（三）第 1 条、（四）第 1 条的规定设置。

（2）构造柱、芯柱的构造，除应符合下列要求外，尚应符合上述（三）第 2 条、（四）

第 2、3 条的规定：

1）砖砌体墙中构造柱截面不宜小于 240mm×240mm（墙厚 190mm 时为 240mm×190mm）；

2）构造柱的纵向钢筋不宜少于 4ϕ14，箍筋间距不宜大于 200mm；芯柱每孔插筋不应小于 1ϕ14，芯柱之间沿墙高应每隔 400mm 设 ϕ4 焊接钢筋网片。

（3）构造柱、芯柱应与每层圈梁连接，或与现浇楼板可靠拉接。

【要点】对比不同结构体系的构造柱设置要求，见表 15-42。

构造柱设置要求比较 **表 15-42**

结构体系	多层砖砌体房屋	底部框架-抗震墙房屋
构造柱设置要求	按表 15-38 设置	相同
构造柱截面（mm）	≥180×200（墙厚 190 时为 180×190）	≥240×240
构造柱的纵向钢筋	≥4ϕ12	≥4×14
构造柱的箍筋间距（mm）	≤@250	≤@200
构造柱与圈梁或现浇板的连接	应可靠连接	相同

2. 过渡层墙体的构造，应符合下列要求：

（1）上部砌体墙的中心线宜与底部的框架梁、抗震墙的中心线相重合；构造柱或芯柱宜与框架柱上下贯通。

（2）过渡层应在底部框架柱、混凝土墙或约束砌体墙的构造柱所对应处设置构造柱或芯柱。

（3）过渡层的砌体墙在窗台标高处，应设置沿纵横墙通长的水平现浇钢筋混凝土带。

（4）过渡层的砌体墙，凡宽度不小于 1.2m 的门洞和 2.1m 的窗洞，洞口两侧宜增设截面不小于 120mm×240mm（墙厚 190mm 时为 120mm×190mm）的构造柱或单孔芯柱。

（5）当过渡层的砌体抗震墙与底部框架梁、墙体不对齐时，应在底部框架内设置托墙转换梁，并且过渡层砖墙或砌块墙应采取比（4）款更高的加强措施。

【要点】上部墙体指与底部框架-抗震墙相邻的上一层砌体楼层，过渡层处于侧向刚度变化较剧烈的区域（上大下小），地震时破坏较重，应采取专门措施予以加强，详见《抗震规范》第 7.5.2 条。

3. 底部框架-抗震墙砌体房屋的底部采用钢筋混凝土墙时，其截面和构造应符合下列要求：

（1）墙体周边应设置梁（或暗梁）和边框柱（或框架柱）组成的边框。

（2）墙板的厚度不宜小于 160mm，且不应小于墙板净高的 1/20；墙体宜开设洞口形成若干墙段，各墙段的高宽比不宜小于 2。

（3）墙体的竖向和横向分布钢筋配筋率均不应小于 0.30%，并应采用双排布置。

（4）墙体的边缘构件可按抗震墙关于一般部位的规定设置。

4. 当 6 度设防的底层框架-抗震墙砖房的底层采用约束砖砌体墙时，其构造应符合下列要求：

（1）砖墙厚不应小于 240mm，砌筑砂浆强度等级不应低于 M10，应先砌墙后浇框架。

（2）沿框架柱每隔 300mm 配置 2ϕ8 水平钢筋和 ϕ4 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片，并沿砖墙水平通长设置；在墙体半高处尚应设置与框架柱相连的钢筋混凝土水平系梁。

（3）墙长大于 4m 时和洞口两侧，应在墙内增设钢筋混凝土构造柱。

5. 当 6 度设防的底层框架-抗震墙砌块房屋的底层采用约束小砌块砌体墙时，其构造应符合下列要求：

（1）墙厚不应小于 190mm，砌筑砂浆强度等级不应低于 Mb10，应先砌墙后浇框架。

（2）沿框架柱每隔 400mm 配置 2ϕ8 水平钢筋和 ϕ4 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片，并沿砌块墙水平通长设置；在墙体半高处尚应设置与框架柱相连的钢筋混凝土水平系梁，系梁截面不应小于 190mm×190mm。

（3）墙体在门、窗洞口两侧应设置芯柱，墙长大于 4m 时，应在墙内增设芯柱，芯柱应符合上述（四）第 2 条的有关规定；其余位置，宜采用钢筋混凝土构造柱替代芯柱，钢筋混凝土构造柱应符合上述（四）第 3 条的有关规定。

6. 底部框架-抗震墙砌体房屋的框架柱应符合下列要求：

（1）柱的截面不应小于 400mm×400mm，圆柱直径不应小于 450mm。

（2）柱的轴压比，6 度时不宜大于 0.85，7 度时不宜大于 0.75，8 度时不宜大于 0.65。

（3）柱的配筋要求详见《抗震规范》。

7. 底部框架-抗震墙砌体房屋的楼盖应符合下列要求：

（1）过渡层的底板应采用现浇钢筋混凝土板，板厚不应小于 120mm；并应少开洞、开小洞，当洞口尺寸大于 800mm 时，洞口周边应设置边梁。

（2）其他楼层，采用装配式钢筋混凝土楼板时均应设现浇圈梁；采用现浇钢筋混凝土楼板时应允许不另设圈梁，但楼板沿抗震墙体周边均应加强配筋并应与相应的构造柱可靠连接。

8. 底部框架-抗震墙砌体房屋的钢筋混凝土托墙梁，其截面和构造应符合《抗震规范》的相关要求。

9. 底部框架-抗震墙砌体房屋的材料强度等级，应符合下列要求：

（1）框架柱、混凝土墙和托墙梁的混凝土强度等级，不应低于 C30。

（2）过渡层砌体块材的强度等级不应低于 MU10，砖砌体砌筑砂浆的强度等级不应低于 M10，砌块砌体砌筑砂浆的强度等级不应低于 Mb10。

10. 底部框架-抗震墙砌体房屋的其他抗震构造措施，应符合本节二、（三）、（四）（多层砖砌体房屋、多层砌块房屋抗震构造措施）和本节一（多层和高层钢筋混凝土房屋）的有关要求。

例 15-38　（13-69）关于砌体结构设置构造柱的主要作用，下列说法错误的是：

A　增强砌体结构的刚度　　B　增强砌体结构的抗剪强度

C　增强砌体结构的延性　　D　增强砌体结构的整体性

提示：在砌体房屋墙体的规定部位，按构造配筋，并按先砌墙后浇筑混凝土柱的施工顺序制成的混凝土柱。通常称混凝土构造柱，简称构造柱。

（1）墙中设混凝土构造柱时可提高墙体使用阶段的稳定性和刚度。A 选项是对的。

（2）构造柱能够提高砌体的受剪承载力 10%～30%左右；采用蒸压灰砂砖和蒸压粉煤灰砖的砌体房屋，当砌体的抗剪强度仅达到烧结普通砖砌体的 70%时，应根据增加一层的层数按规范要求设置构造柱；应考虑砌体结构的整体强度而不是结构内单一材料的强度（参见《砌体结构设计规范》表 3.2.1-1)，当砖的强度等级是 MU30 且砂浆的强度等级为 M2.5 时，砌体的抗压强度设计值仅为 2.26MPa，远远低于砖的强度，略低于砂浆的强度；由此可以推断，砌体结构的强度不是单一材料的强度，所以设构造柱能够提高砌体结构的抗剪强度，B 选项是对的。

（3）约束砌体构件，是指通过在无筋砌体墙片的两侧、上下分别设置钢筋混凝土构造柱、圈梁形成的约束作用提高无筋砌体墙片延性和抗力的砌体构件。构造柱属于约束砌体构件，C 选项是对的。

（4）配筋砌体结构，由配置钢筋的砌体作为建筑物主要受力构件的结构。是网状配筋砌体柱、水平配筋砌体墙、砖砌体和钢筋混凝土面层或钢筋砂浆面层组合砌体柱（墙）、砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙和配筋砌块砌体剪力墙结构的统称。由于配筋砌体的整体性比无筋砌体好，刚度较无筋砌体大，因此在无筋砌体高厚比最高限值为 28 的基础上作了提高，配筋砌体高厚比最高限值为 30。对于无筋砌体结构，如混凝土砌块房屋，宜将纵横墙交接处，距墙中心线每边不小于 300mm 范围内的空洞，采用不低于 Cb20 混凝土沿全墙高灌实，是为增强混凝土砌块房屋的整体性和抗裂能力提出的规定，起到了类似小型构造柱的作用；由此可以看出 D 选项是对的，同时也能表明 A 选项的正确性。

答案：无

规范：（1）《砌体结构设计规范》GB 50003—2011 第 6.1.2 条文说明；（2）《抗震规范》第 7.3.1、7.3.2 条文说明、第 7.3.2 条 5 款；（3）《砌体结构设计规范》第 2.1.31 条；（4）《砌体结构设计规范》第 2.1.2 条、第 6.1.1 条文说明、第 6.1.12 条及条文说明。

三、多层和高层钢结构房屋

【要点】钢结构的抗震性能优于钢筋混凝土结构，钢材基本上属于各向同性材料，抗压、抗拉和抗剪强度都很高，具有很好的延性。在地震作用下，不仅能减弱地震反应，而且属于较理想的弹塑性结构，具有抵抗强烈地震的变形能力。

剪切变形是钢结构耗能的主要形式，注意区分其与钢筋混凝土结构的不同。

（一）一般规定

1. 本部分适用的钢结构民用房屋的结构类型和最大高度应符合表 15-43 的规定，平面和竖向均不规则的钢结构适用的最大高度宜适当降低。

注：①钢支撑-混凝土框架和钢框架-混凝土筒体结构的抗震设计，应符合《抗震规范》附录 G 的规定；②多层钢结构厂房的抗震设计，应符合《抗震规范》附录 H 第 H.2 节的规定。

钢结构房屋适用的最大高度（m）　　　　表 15-43

结构类型	6、7度 (0.10g)	7度 (0.15g)	8度		9度 (0.40g)
			(0.20g)	(0.30g)	
框架	110	90	90	70	50
框架-中心支撑	220	200	180	150	120
框架-偏心支撑（延性墙板）	240	220	200	180	160
筒体（框筒，筒中筒，桁架筒，束筒）和巨型框架	300	280	260	240	180

注：1. 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；
2. 超过表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施；
3. 表内的筒体不包括混凝土筒。

2. 本部分适用的钢结构民用房屋的最大高宽比不宜超过表 15-44 的规定。限制钢结构民用房屋的最大高宽比就是要确保房屋的抗倾覆整体稳定性。

钢结构民用房屋适用的最大高宽比　　　　表 15-44

烈　度	6、7	8	9
最大高宽比	6.5	6.0	5.5

注：塔形建筑的底部有大底盘时，高宽比可按大底盘以上计算。

3. 钢结构房屋应根据设防分类、烈度和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求，丙类建筑的抗震等级应按表 15-45 确定。

钢结构房屋的抗震等级　　　　表 15-45

房屋高度	烈度			
	6	7	8	9
≤50m		四	三	二
＞50m	四	三	二	一

注：1. 高度接近或等于高度分界时，应允许结合房屋不规则程度和场地、地基条件确定抗震等级；
2. 一般情况，构件的抗震等级应与结构相同；当某个部位各构件的承载力均满足 2 倍地震作用组合下的内力要求时，7～9 度的构件抗震等级应允许按降低一度确定。

4. 钢结构房屋需要设置防震缝时，缝宽应不小于相应钢筋混凝土结构房屋的 1.5 倍。有条件时，钢结构房屋应尽量避免设置防震缝。

5. 一、二级的钢结构房屋，宜设置偏心支撑、带竖缝钢筋混凝土抗震墙板、内藏钢支撑钢筋混凝土墙板、屈曲约束支撑等消能支撑或筒体。

采用框架结构时，甲、乙类建筑和高层的丙类建筑不应采用单跨框架，多层的丙类建筑不宜采用单跨框架。

注：本部分中的“一、二、三、四级”即“抗震等级为一、二、三、四级”的简称。

6. 采用框架-支撑结构的钢结构房屋，应符合下列规定：

(1) 支撑框架在两个方向的布置均宜基本对称，支撑框架之间楼盖的长宽比不宜大于3。

(2) 三、四级且高度不大于50m的钢结构宜采用中心支撑，也可采用偏心支撑、屈曲约束支撑等消能支撑。

(3) 中心支撑框架宜采用交叉支撑，也可采用人字支撑或单斜杆支撑，不宜采用K形支撑。

(4) 偏心支撑框架的每根支撑应至少有一端与框架梁连接，并在支撑与梁交点和柱之间或同一跨内另一支撑与梁交点之间形成消能梁段。

(5) 采用屈曲约束支撑时，宜采用人字支撑、成对布置的单斜杆支撑等形式，不应采用K形或X形支撑，支撑与柱的夹角宜在35°～55°之间。

7. 钢框架-筒体结构，必要时可设置由筒体外伸臂或外伸臂和周边桁架组成的加强层。

8. 钢结构房屋的楼盖应符合下列要求：

(1) 宜采用压型钢板现浇钢筋混凝土组合楼板或钢筋混凝土楼板，并应与钢梁有可靠连接。

(2) 对6、7度时不超过50m的钢结构，尚可采用装配整体式钢筋混凝土楼板，也可采用装配式楼板或其他轻型楼盖；但应将楼板预埋件与钢梁焊接，或采取其他保证楼盖整体性的措施。

(3) 对转换层楼盖或楼板有大洞口等情况，必要时可设置水平支撑。

9. 钢结构房屋的地下室设置

(1) 设置地下室时，框架-支撑（抗震墙板）结构中竖向连续布置的支撑（抗震墙板）应延伸至基础；钢框架柱应至少延伸至地下一层，其竖向荷载应直接传至基础。

(2) 超过50m的钢结构房屋应设置地下室。其基础埋置深度，当采用天然地基时不宜小于房屋总高度的1/15；当采用桩基时，桩承台埋深不宜小于房屋总高度的1/20。

【要点】

◆钢结构的抗震等级只与设防标准和房屋高度有关，而与房屋自身的结构类型无关（这点与混凝土结构不同）。

◆以房屋高度50m为界确定相应的抗震等级。6度区房屋高度≤50m的钢结构可按非抗震结构设计。

◆中心支撑抗侧力刚度大、加工安装简单，但变形能力弱。在水平地震作用下，中心支撑宜产生侧向屈曲。对较为规则的结构和没有明显薄弱层的结构，高度不很高时可采用中心支撑（图15-16）来提高结构设计的经济性。

◆偏心支撑具有弹性阶段刚度接近中心支撑，弹塑性阶段的延性和耗能能力接近于延性框架的特点，是一种良好的抗震结构。偏心支撑的设计原则是强柱、强支撑、弱消能梁段。在大震时消能梁段屈服形成塑性铰，支撑斜杆、柱和其余消能梁段仍保持弹性，抗震性能好，但同时又有抗侧刚度相对较小（相比中心支撑而言）、加工安装复杂等不足。当房屋高度很高时，应采用偏心支撑结构（图15-17）。

◆注意不宜采用K形支撑（图15-18）。因K形支撑斜杆与柱相交，容易造成受压斜

杆失稳或受拉斜杆屈服，引起较大的侧向变形，使柱发生屈曲甚至造成倒塌，因此在抗震结构中不宜采用。

◆保证楼板与钢梁可靠连接的技术措施有：钢梁与现浇混凝土楼板连接时，采用抗剪连接件栓钉连接、焊接短槽钢或角钢段连接及其他连接方法，见图 15-19、图 15-20。

图 15-16　中心支撑　　图 15-17　偏心支撑　　图 15-18　K 形支撑（不宜采用）

现浇钢筋混凝土组合楼板或非组合楼板
可靠连接
钢梁
可采用装配整体式钢筋混凝土楼板
也可采用装配式楼板或其他轻型楼盖
焊接牢固
其他可靠连接措施
6、7度≤50m的钢结构
现浇钢筋混凝土楼板
钢梁
吊模

图 15-19　钢结构的楼盖

（引自：朱炳寅．建筑抗震设计规范应用与分析（第二版）．北京：中国建筑工业出版社，2017）

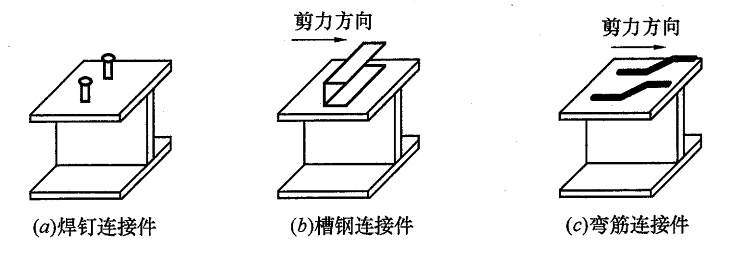


图 15-20　连接件的类型及设置方向

◆钢结构房屋地下室设置要求，见图 15-21 示意。

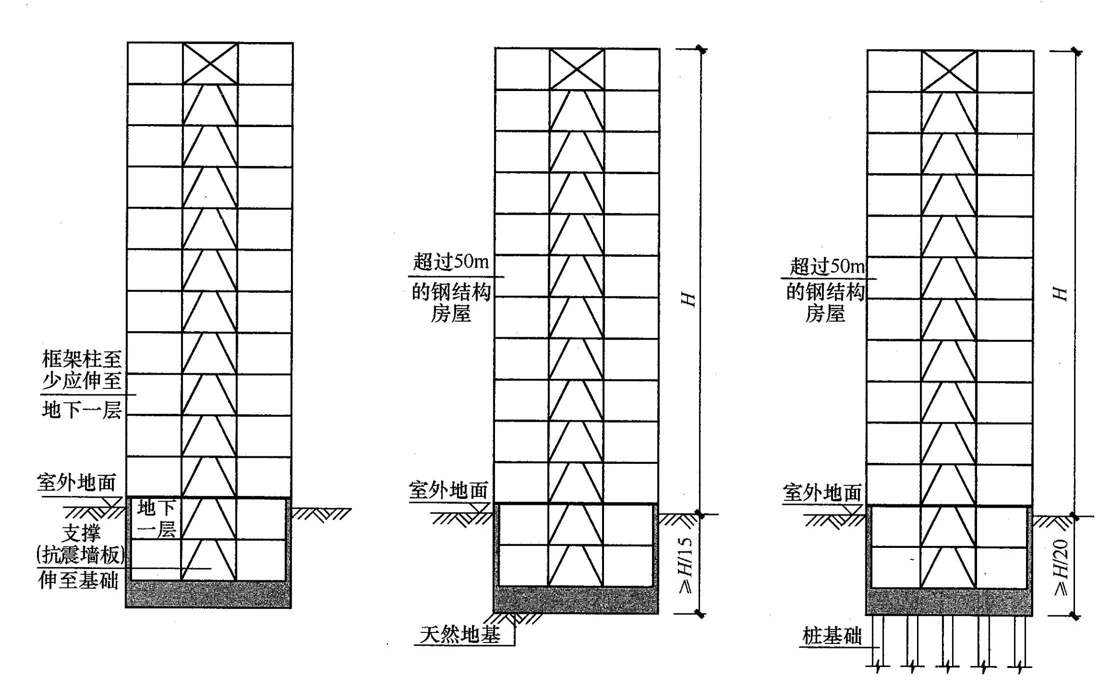


图 15-21　钢结构房屋地下室设置示意

（引自：朱炳寅．建筑抗震设计规范应用与分析（第二版）．北京：中国建筑工业出版社，2017）

例 15-39　**(12-78)** 下列关于抗震设防的高层钢结构建筑平面布置的说法中，错误的是：

A　建筑平面宜简单规则

B　不宜设置防震缝

C　选用风压较小的平面形状，可不考虑邻近高层建筑对其风压的影响

D　应使结构各层的抗侧力刚度中心与水平作用合力中心接近重合，同时各层接近在同一竖直线上

提示： 1. 高层建筑受风荷载影响，宜选用风压较小的平面形状，并应考虑邻近高层建筑物对该建筑物风压的影响。故 C 选项“不考虑”错误。

2. 在建筑平面布置中，建筑平面宜简单规则，并使结构各层的抗侧力刚度中心与水平作用合力中心接近重合，同时各层接近在同一竖直线上。

3. 高层建筑钢结构不宜设置防震缝和伸缩缝。薄弱部位应采取措施提高抗震能力。

答案： C

规范：《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015（以下简称《高层钢结构规程》第 3.2.1 条、第 3.2.3 条、第 3.2.4 条。

例 15-40　**(14-64)** 在地震区钢结构建筑不应采用 K 形斜杆支撑体系，其主要原因是：

A　框架柱易发生屈曲破坏　　　　B　受压斜杆易破坏

C　受拉斜杆易拉断　　　　　　　　　　D　节点连接强度差

提示： 主要原因是K形斜杆支撑体系在地震作用下，可能因受压斜杆屈曲或受拉斜杆屈服，引起较大的侧向变形，使柱发生屈曲甚至造成倒塌破坏。

答案： A

规范：《高层钢结构规程》第7.5.1条。

（二）钢框架结构抗震构造措施

【要点】 钢结构设计的构造要求与混凝土结构设计相同，都是根据抗震等级来确定相应的抗震构造措施，实现抗震设计的总体要求。对钢结构的抗震构造措施以掌握概念为主。

1. 框架柱的长细比控制

【要点】 长细比控制属于钢结构构件设计的重要内容。当构件由长细比控制时，应尽可能选用强度等级低的钢材，以增大构件截面，增加长细比，节约钢材造价。

2. 框架梁、柱板件宽厚比应符合规范规定。

3. 梁柱构件的侧向支承应符合下列要求：

（1）梁柱构件受压翼缘应根据需要设置侧向支承。

（2）梁柱构件在出现塑性铰的截面，上下翼缘均应设置侧向支承。

（3）相邻两侧向支承点间的构件长细比，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017的有关规定。

【要点】 框架梁受压翼缘根据需要设置侧向支撑，如图15-22梁的隅撑设置，其目的是确保梁柱构件的平面外整体稳定。

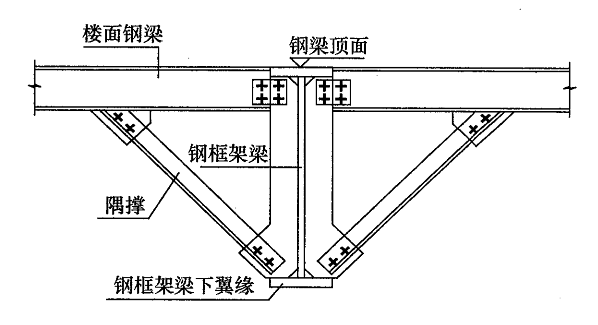


图15-22　梁柱构件的侧向支撑示意

（引自：朱炳寅．建筑抗震设计规范应用与分析（第二版）．北京：中国建筑工业出版社，2017）

4. 梁与柱的连接构造应符合下列要求：

（1）梁与柱的连接宜采用柱贯通型。

（2）柱在两个互相垂直的方向都与梁刚接时宜采用箱形截面，并在梁翼缘连接处设置隔板；当柱仅在一个方向与梁刚接时，宜采用工字形截面，并将柱腹板置于刚接框架平面内。

（3）工字形柱（绕强轴）和箱形柱与梁刚接时，应符合图15-23的要求：

1）梁翼缘与柱翼缘间应采用全熔透坡口焊缝；一、二级时，应检验焊缝的V形切口冲击韧性。

2）柱在梁翼缘对应位置应设置横向加劲肋（隔板），加劲肋（隔板）厚度不应小于梁翼缘厚度，强度与梁翼缘相同。

3）梁腹板宜采用摩擦型高强度螺栓与柱连接板连接（经工艺试验合格，能确保现场焊接质量时，可用气体保护焊进行焊接）；腹板角部应设置焊接孔，孔形应使其端部与梁翼缘和柱翼缘间的全熔透坡口焊缝完全隔开。

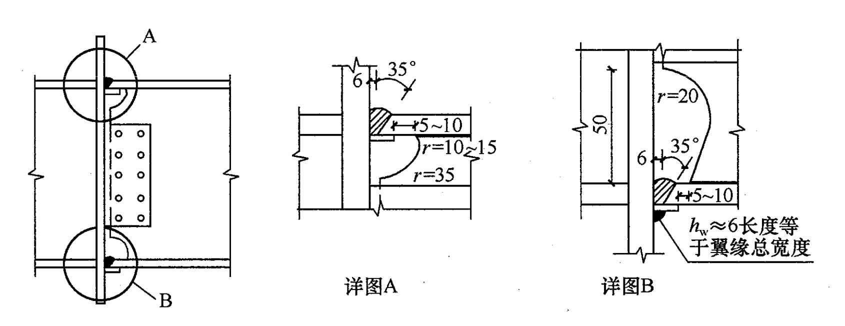


图 15-23 框架梁与柱的现场连接

4）腹板连接板与柱的焊接，当板厚不大于 16mm 时，应采用双面角焊缝；焊缝有效厚度应满足等强度要求，且不小于 5mm。板厚大于 16mm 时，采用 K 形坡口对接焊缝；该焊缝宜采用气体保护焊，且板端应绕焊。

5）一级和二级时，宜采用能将塑性铰自梁端外移的端部扩大形连接、梁端加盖板或骨形连接。

（4）框架梁采用悬臂梁段与柱刚性连接时（图 15-24），悬臂梁段与柱应采用全焊接连接，此时上下翼缘焊接孔的形式宜相同；梁的现场拼接可采用翼缘焊接腹板螺栓连接或全部螺栓连接。

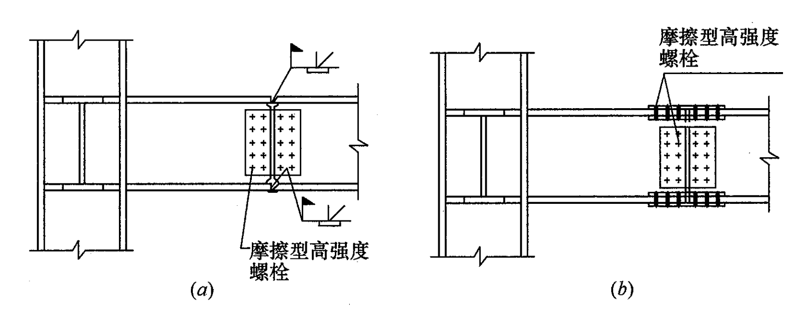


图 15-24 框架柱与梁悬臂段的连接

（5）箱形柱在与梁翼缘对应位置设置的隔板，应采用全熔透对接焊缝与壁板相连。工字形柱的横向加劲肋与柱翼缘，应采用全熔透对接焊缝连接，与腹板可采用角焊缝连接。

5. 梁与柱刚性连接时，柱在梁翼缘上下各 500mm 的范围内，柱翼缘与柱腹板间或箱形柱壁板间的连接焊缝应采用全熔透坡口焊缝。

6. 钢结构的刚接柱脚宜采用埋入式，也可采用外包式；6、7 度且高度不超过 50m 时也可采用外露式。

（三）钢框架-中心支撑结构的抗震构造措施

1. 中心支撑的杆件长细比和板件宽厚比限值应符合相应的规范规定，详见《抗震规范》第 8.4.1 条。

2. 中心支撑节点的构造应符合《抗震规范》第 8.4.2 条。

（四）钢框架-偏心支撑结构的抗震构造措施

偏心支撑构件和消能梁段是抗震钢框架-偏心支撑结构中的特殊构件，其构造要求比其他结构更为特殊。

对消能梁段的有特殊的材料要求，对支撑斜杆及其他构件的材料可按规范的基本要求。

对钢框架-偏心支撑结构除应满足特殊要求外，还需满足《抗震规范》第 8.3 节对钢框架结构的基本要求，可与钢框架-中心支撑结构对应比较，详见《抗震规范》第 8.5 节。

例 15-41 （12-66）在地震区，钢框架梁与柱的连接构造，下列说法错误的是：

A 宜采用梁贯通型

B 宜采用柱贯通型

C 柱在两个互相垂直的方向都与梁刚接时，宜采用箱形截面

D 梁翼缘与柱翼缘间应采用全熔透坡口焊缝

提示：梁与柱连接宜采取柱贯通型。

答案：A

规范：《高层钢结构规程》第 8.3.1 条、第 8.3.3 条；《抗震规范》第 8.3.4 条。

四、混合结构设计

（一）一般规定

1. 混合结构，系指由外围钢框架或型钢混凝土、钢管混凝土框架与钢筋混凝土核心筒所组成的框架-核心筒结构，以及由外围钢框筒或型钢混凝土、钢管混凝土框筒与钢筋混凝土核心筒所组成的筒中筒结构。

【要点】

◆混合结构主要是以钢梁、钢柱（或型钢混凝土梁、型钢混凝土柱）代替混凝土梁、混凝土柱，具有降低结构自重、减小结构构件尺寸以及施工速度快等特点。

◆采用型钢或钢管混凝土结构具有优越的承载力和延性，在高层建筑中广泛采用。

◆采用型钢（钢管）混凝土构件与钢筋混凝土、钢构件组成的结构均可称为混合结构，工程中使用最多的是框架-核心筒及筒中筒混合结构体系。

例 15-42 （14-98）下列所述的高层结构中，属于混合结构体系的是：

A 由外围型钢混凝土框架与钢筋混凝土核心筒所组成的框架-核心筒结构

B 为减少柱子尺寸或增加延性，采用型钢混凝土柱的框架结构

C 钢筋混凝土框架+大跨度钢屋盖结构

D 在结构体系中局部采用型钢混凝土梁柱的结构

答案：A

规范：《高层混凝土规程》第 11.1.1 条。

2. 混合结构高层建筑适用的最大高度，应符合表 15-46 的规定。

混合结构高层建筑适用的最大高度（m） **表 15-46**

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度				
			6 度	7 度	8 度		9 度
					0.2g	0.3g	
框架-核心筒	钢框架-钢筋混凝土核心筒	210	200	160	120	100	70
	型钢（钢管）混凝土框架-钢筋混凝土核心筒	240	220	190	150	130	70

续表

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度				
			6度	7度	8度		9度
					0.2g	0.3g	
筒中筒	钢外筒-钢筋混凝土核心筒	280	260	210	160	140	80
	型钢（钢管）混凝土外筒-钢筋混凝土核心筒	300	280	230	170	150	90

注：平面和竖向均不规则的结构，最大适用高度应适当降低。

【要点】 混合结构建筑没有B级高度，钢框架-核心筒结构体系适用的最大高度较B级高度的混凝土框架-核心筒体系适用的最大高度适当减小，见表15-47。

钢筋混凝土房屋适用的最大高度（m）　　表15-47

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度				
			6度	7度	8度		9度
					0.2g	0.3g	
钢筋混凝土框架-核心筒	A级高度	160	150	130	100	90	70
	B级高度	220	210	180	140	120	—
钢筋混凝土筒中筒	A级高度	200	180	150	120	100	80
	B级高度	300	280	230	170	150	—

（引自：朱炳寅．建筑抗震设计规范应用与分析（第二版）．北京：中国建筑工业出版社，2017）

3. 混合结构高层建筑的高宽比，不宜大于表15-48的规定。

混合结构高层建筑适用的最大高宽比　　表15-48

结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6度、7度	8度	9度
框架-核心筒	8	7	6	4
筒中筒	8	8	7	5

【要点】

◆ 高层建筑的高宽比是对结构刚度、整体稳定、承载能力和经济合理性的宏观控制。

◆ 与钢筋混凝土结构体系的高宽比做比较，钢（型钢混凝土）框架-钢筋混凝土筒体混合结构体系高层建筑，其主要抗侧力体系仍然是钢筋混凝土筒体，因此其高宽比的限值和层间位移角限值均与钢筋混凝土结构体系相同；而筒中筒体系混合结构，外周筒体抗侧刚度较大，且外筒延性相对较好，故高宽比要求适当放宽。

4. 混合结构的抗震等级

抗震设计时，混合结构房屋应根据设防类别、烈度、结构类型和房屋高度，采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。丙类建筑混合结构的抗震等级应按表15-49确定。

钢—混凝土混合结构抗震等级　　表 15-49

结构类型		抗震设防烈度						
		6 度		7 度		8 度		9 度
房屋高度（m）		≤150	＞150	≤130	＞130	≤100	＞100	≤70
钢框架-钢筋混凝土核心筒	钢筋混凝土核心筒	二	一	一	特一	一	特一	特一
型钢（钢管）混凝土框架-钢筋混凝土核心筒	钢筋混凝土核心筒	二	二	二	一	一	特一	特一
	型钢（钢管）混凝土框架	三	二	二	一	一	一	一
房屋高度（m）		≤180	＞180	≤150	＞150	≤120	＞120	≤90
钢外筒-钢筋混凝土核心筒	钢筋混凝土核心筒	二	一	一	特一	一	特一	特一
型钢(钢管)混凝土外筒-钢筋混凝土核心筒	钢筋混凝土核心筒	二	二	二	一	一	特一	特一
	型钢（钢管）混凝土外筒	三	二	二	一	一	一	一

注：钢结构构件抗震等级，抗震设防烈度为 6、7、8、9 度时应分别取四、三、二、一级。

【要点】

◆混合结构中钢结构构件与钢结构的抗震等级确定原则一样，只与抗震设防类别、烈度和房屋高度有关，与结构体系无关（钢筋混凝土结构的抗震等级与此有关）。

◆地震作用下，钢框架-混凝土筒体结构的破坏首先出现在混凝土筒体，应对该筒体采取较混凝土结构中的筒体更为严格的构造措施，以提高其延性，因此对其抗震等级的要求适当提高。

5. 混合结构在风荷载及多遇地震作用下，按弹性方法计算的最大层间位移与层高的比值应符合《高层混凝土规程》第 3.7.3 条的有关规定；在罕遇地震作用下，结构的弹塑性层间位移应符合《高层混凝土规程》第 3.7.5 条的有关规定。

【要点】混合结构中的抗侧力结构主要是钢筋混凝土筒体，因此弹性层间位移角、弹塑性层间位移角与钢筋混凝土结构体系的相同。

6. 当采用压型钢板混凝土组合楼板时，楼板混凝土可采用轻质混凝土，其强度等级不应低于 LC25；高层建筑钢-混凝土混合结构的内部隔墙应采取用轻质隔墙。

7. 型钢混凝土构件中型钢板件的宽厚比不宜小于规范规定（图 15-25）。

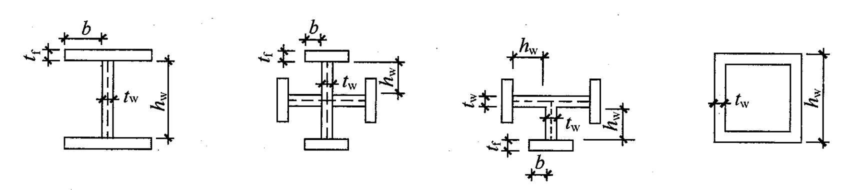


图 15-25　型钢板件示意

（二）结构布置

1. 混合结构房屋的结构布置

除应符合以下的规定外，尚应符合本章第一节中三、（二）（结构平面和竖向布置）的有关规定。

2. 混合结构的平面布置应符合下列规定：

（1）平面宜简单、规则、对称，具有足够的整体抗扭刚度，平面宜采用方形、矩形、多边形、圆形、椭圆形等规则平面，建筑的开间、进深宜统一。

（2）筒中筒结构体系中，当外围钢框架柱采用 H 形截面柱时，宜将柱截面强轴方向布置在外围筒体平面内；角柱宜采用十字形、方形或圆形截面。

（3）楼盖主梁不宜搁置在核心筒或内筒的连梁上。

3. 混合结构的竖向布置宜符合下列规定：

（1）结构的侧向刚度和承载力沿竖向宜均匀变化、无突变，构件截面宜由下至上逐渐减小。

（2）混合结构的外围框架柱沿高度宜采用同类结构构件；当采用不同类型的结构构件时，应设置过渡层，且单柱的抗弯刚度变化不宜超过 30%。

（3）对于刚度变化较大的楼层，应采取可靠的过渡加强措施。

（4）钢框架部分采用支撑时，宜采用偏心支撑和耗能支撑，支撑宜双向连续布置；框架支撑宜延伸至基础。

4. 8、9 度抗震设计时，应在楼面钢梁或型钢混凝土梁与混凝土筒体交接处及混凝土筒体四角墙内设置型钢柱；7 度抗震设计时，宜在楼面钢梁或型钢混凝土梁与混凝土筒体交接处及混凝土筒体四角墙内设置型钢柱。

5. 混合结构中，外围框架平面内梁与柱应采用刚性连接；楼面梁与钢筋混凝土筒体及外围框架柱的连接可采用刚接或铰接。

【要点】

◆ 外框筒平面内采用梁柱刚接，能提高刚度及抵抗水平荷载的能力。

◆ 如在混凝土筒体墙中设置型钢并需要增加整体结构刚度时，可采取楼面钢梁与混凝土筒体刚接；当混凝土墙中无型钢柱时，宜采用铰接。

◆ 刚度发生突变的楼层，梁柱、梁墙采用刚接可以增加结构的空间刚度，使层间变形有效减小。

6. 楼盖体系应具有良好的水平刚度和整体性，其布置应符合下列规定：

（1）楼面宜采用压型钢板现浇混凝土组合楼板、现浇混凝土楼板或预应力混凝土叠合楼板，楼板与钢梁应可靠连接。

（2）机房设备层、避难层及外伸臂桁架上下弦杆所在楼层的楼板宜采用钢筋混凝土楼板，并应采取加强措施。

（3）对于建筑物楼面有较大开洞或为转换楼层时，应采用现浇混凝土楼板；对楼板大开洞部位宜采取设置刚性水平支撑等加强措施。

7. 当侧向刚度不足时，混合结构可设置刚度适宜的加强层。加强层宜采用伸臂桁架，必要时可配合布置周边带状桁架。

加强层设计应符合下列规定：

（1）伸臂桁架和周边带状桁架宜采用钢桁架。

（2）伸臂桁架应与核心筒墙体刚接，上、下弦杆均应延伸至墙体内且贯通，墙体内宜设置斜腹杆或暗撑；外伸臂桁架与外围框架柱宜采用铰接或半刚接，周边带状桁架与外框架柱的连接宜采用刚性连接。

（3）核心筒墙体与伸臂桁架连接处宜设置构造型钢柱，型钢柱宜至少延伸至伸臂桁架高度范围以外上、下各一层。

（4）当布置有外伸桁架加强层时，应采取有效措施减少由于外框柱与混凝土筒体竖向变形差异引起的桁架杆件内力。

（三）构件设计

1. 型钢混凝土中型钢板件宽厚比不宜超过规范的相关规定。

2. 型钢混凝土梁的基本构造要求

（1）混凝土粗骨料最大直径不宜大于 25mm，型钢宜采用 Q235 及 Q345 级钢材，也可采用 Q390 或其他符合结构性能要求的钢材。

（2）梁的纵向钢筋宜避免穿过柱中型钢的翼缘。

（3）型钢混凝土梁中型钢的混凝土保护层厚度不宜小于 100mm，梁纵向钢筋净间距及梁纵向钢筋与型钢骨架的最小净距不应小于 30mm。

（4）型钢混凝土梁中的纵向受力钢筋宜采用机械连接。

（5）梁上开洞不宜大于梁截面总高的 40%，且不宜大于内含型钢截面高度的 70%，并应位于梁高及型钢高度的中间区域。

（6）型钢混凝土悬臂梁自由端的纵向受力钢筋应设置专门的锚固件，型钢梁的上翼缘宜设置栓钉；型钢混凝土转换梁在型钢上翼缘宜设置栓钉。栓钉顶面的混凝土保护层厚度不应小于 15mm。

3. 型钢混凝土梁的箍筋应符合下列规定：

（1）箍筋的最小面积配筋率应符合相应的规范规定。

（2）抗震设计时，梁端箍筋应加密配置。

（3）型钢混凝土梁应采用具有 135°弯钩的封闭式箍筋，箍筋的直径和间距应符合规范规定。

4. 抗震设计时，混合结构中型钢混凝土柱的轴压比不宜大于规范限值。

5. 型钢混凝土柱设计应符合下列构造要求：

（1）型钢混凝土柱的长细比不宜大于 80。

（2）房屋的底层、顶层以及型钢混凝土与钢筋混凝土交接层的型钢混凝土柱宜设置栓钉，型钢截面为箱形的柱子也宜设置栓钉，栓钉水平间距不宜大于 250mm。

（3）型钢柱中型钢的保护厚度不宜小于 150mm。

（4）型钢混凝土柱的纵向钢筋最小配筋率不宜小于 0.8%，且在四角应各配置一根直径不小于 16mm 的纵向钢筋。

6. 型钢混凝土柱箍筋的构造设计应符合《高层混凝土规程》的规定。

7. 型钢混凝土梁柱节点应符合下列构造要求：

（1）型钢柱在梁水平翼缘处应设置加劲肋，其构造不应影响混凝土浇筑密实；

（2）箍筋间距不宜大于柱端加密区间距的 1.5 倍，箍筋直径不宜小于柱端箍筋加密区

的箍筋直径；

（3）梁中钢筋穿过梁柱节点时，不宜穿过柱型钢翼缘；需穿过柱腹板时，柱腹板截面损失率不宜大于25%，当超过25%时，则需进行补强；梁中主筋不得与柱型钢直接焊接。

8. 圆形钢管混凝土构件及节点可按《高层混凝土规程》附录F进行设计。

9. 圆形钢管混凝土柱尚应符合下列构造要求：

（1）钢管直径不宜小于400mm；

（2）钢管壁厚不宜小于8mm；

（3）钢管外径与壁厚的比值D/t要求；

（4）圆钢管混凝土柱的套箍指标要求；

（5）柱的长细比不宜大于80；

（6）轴向压力偏心率要求；

（7）钢管混凝土柱与框架梁刚性连接要求；

（8）直径大于2m的圆形钢管混凝土构件应采取有效措施，减小钢管内混凝土收缩对构件受力性能的影响。

10. 矩形钢管混凝土柱应符合下列构造要求：

（1）钢管截面短边尺寸不宜小于400mm；

（2）钢管壁厚不宜小于8mm；

（3）钢管截面的高宽比不宜大于2，当矩形钢管混凝土柱截面最大边尺寸不小于800mm时，宜采取在柱子内壁上焊接栓钉、纵向加劲肋等构造措施；

（4）钢管管壁板件的边长与其厚度的比值不应大于$60\sqrt{235/f_y}$；

（5）柱的长细比不宜大于80；

（6）矩形钢管混凝土柱的轴压比应符合限值要求。

11. 钢梁或型钢混凝土梁与混凝土筒体应有可靠连接，应能传递竖向剪力及水平力。当钢梁或型钢混凝土梁通过埋件与混凝土筒体连接时，预埋件应有足够的锚固长度。

12. 抗震设计时，混合结构中的钢柱及型钢混凝土柱、钢管混凝土柱宜采用埋入式柱脚。

13. 钢筋混凝土核心筒、内筒的设计，除应符合《高层混凝土规程》第9.1.7条的规定外，尚应符合下列规定：

（1）抗震设计时，钢框架-钢筋混凝土核心筒结构的筒体底部加强部位应符合规范要求；

（2）抗震设计时，框架-钢筋混凝土核心筒混合结构的筒体底部加强部位约束边缘构件沿墙肢的长度宜取墙肢截面高度的1/4，筒体底部加强部位以上墙体宜按规范要求设置约束边缘构件；

（3）当连梁抗剪截面不足时，可采取在连梁中设置型钢或钢板等措施。

14. 混合结构中结构构件的设计，尚应符合国家现行标准《钢结构设计规范》GB 50017、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《高层钢结构规程》、《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ 138的有关规定。

例 15-43 （14-67）型钢混凝土梁在型钢上设置的栓钉，其主要受力特征正确的是：

A 受剪　　B 受拉　　C 受压　　D 受弯

提示： 栓钉是钢结构组合梁的抗剪连接件，其主要受力特征为受剪，也可以采用槽钢、弯筋或有可靠依据的其他类型连接件。

答案： A

规范：《钢结构设计规范》第 11.3.1 条图 11.3.1（见图 15-20）。

例 15-44 （12-64）型钢混凝土梁中，型钢的混凝土保护层厚度不宜小于：

A 100mm　　B 120mm　　C 150mm　　D 200mm

提示： 型钢混凝土梁中型钢的混凝土保护层厚度不宜小于 100mm，梁纵向钢筋净间距及梁纵向钢筋与型钢骨架的最小净距不应小于 30mm。

答案： A

规范：《高层混凝土规程》第 11.4.2 条第 3 款。

五、单层工业厂房

【要点】 单层工业厂房，一般多是铰接排架结构，抗侧刚度小，结构的冗余量也较小，相对于其他结构形式，震害严重，因此规范对单层工业厂房的结构布置和抗震构造有专门的要求。

（一）单层钢筋混凝土柱厂房

1. 一般规定，本条内容主要适用于装配式单层钢筋混凝土柱厂房。

（1）厂房的结构布置应符合下列要求：

1）多跨厂房宜等高和等长，高低跨厂房不宜采用一端开口的结构布置。

2）厂房的贴建房屋和构筑物，不宜布置在厂房角部和紧邻防震缝处。

3）厂房体型复杂或有贴建的房屋和构筑物时，宜设防震缝；在厂房纵横跨交接处、大柱网厂房或不设柱间支撑的厂房，防震缝宽度可采用 100～150mm，其他情况可采用 50～90mm。

4）两个主厂房之间的过渡跨至少应有一侧采用防震缝与主厂房脱开。

5）厂房内上起重机的铁梯不应靠近防震缝设置；多跨厂房各跨上起重机的铁梯不宜设置在同一横向轴线附近。

6）厂房内的工作平台、刚性工作间宜与厂房主体结构脱开。

7）厂房的同一结构单元内，不应采用不同的结构形式；厂房端部应设屋架，不应采用山墙承重；厂房单元内不应采用横墙和排架混合承重。

8）厂房柱距宜相等，各柱列的侧移刚度宜均匀，当有抽柱时，应采取抗震加强措施。

注：钢筋混凝土框排架厂房的抗震设计，应符合《抗震规范》附录 H 第 H.1 节的规定。

（2）厂房天窗架的设置，应符合下列要求：

1）天窗宜采用突出屋面较小的避风型天窗，有条件或 9 度时宜采用下沉式天窗。

2）突出屋面的天窗宜采用钢天窗架；6～8 度时，可采用矩形截面杆件的钢筋混凝土天窗架。

3）天窗架不宜从厂房结构单元第一开间开始设置；8 度和 9 度时，天窗架宜从厂房

单元端部第三柱间开始设置。

4）天窗屋盖、端壁板和侧板，宜采用轻型板材；不应采用端壁板代替端天窗架。

【要点】 厂房天窗架的设置要求见表 15-50。

厂房天窗架的设置要求 **表 15-50**

厂房天窗架	一般情况	其他
天窗	宜采用突出屋面较小的避风型天窗	有条件或 9 度时宜采用下沉式天窗
突出屋面的天窗	宜采用钢天窗架	6～8 度时，可采用矩形截面杆件的钢筋混凝土天窗架
8 度和 9 度时的天窗架	宜从厂房单元端部第三柱间开始设置	不宜从厂房结构单元第一开间开始设置
天窗屋盖、端壁板和侧板	宜采用轻型板材	不应采用端壁板代替端天窗架

（3）厂房屋架的设置应符合下列要求：

1）厂房宜采用钢屋架或重心较低的预应力混凝土、钢筋混凝土屋架。

2）跨度不大于 15m 时，可采用钢筋混凝土屋面梁。

3）跨度大于 24m，或 8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度时，应优先采用钢屋架。

4）柱距为 12m 时，可采用预应力混凝土托架（梁）；当采用钢屋架时，亦可采用钢托架（梁）。

5）有突出屋面天窗架的屋盖不宜采用预应力混凝土或钢筋混凝土空腹屋架。

6）8 度（0.30g）和 9 度时，跨度大于 24m 的厂房不宜采用大型屋面板。

（4）厂房柱的设置应符合下列要求：

1）8 度和 9 度时，宜采用矩形、工字形截面柱或斜腹杆双肢柱，不宜采用薄壁工字形柱、腹板开孔工字形柱、预制腹板的工字形柱和管柱。

2）柱底至室内地坪以上 500mm 范围内和阶形柱的上柱宜采用矩形截面。

（5）厂房围护墙、砌体女儿墙的布置、材料选型和抗震构造措施，应符合本节九、（二）（非结构构件）的有关规定。

2. 抗震构造措施

（1）有檩屋盖构件的连接及支撑布置，应符合下列要求：

1）檩条应与混凝土屋架（屋面梁）焊牢，并应有足够的支承长度。

2）双脊檩应在跨度 1/3 处相互拉结。

3）压型钢板应与檩条可靠连接，瓦楞铁、石棉瓦等应与檩条拉结。

4）支撑布置宜符合《抗震规范》表 9.1.15 的要求。

（2）无檩屋盖构件的连接及支撑布置，应符合下列要求：

1）大型屋面板应与屋架（屋面梁）焊牢，靠柱列的屋面板与屋架（屋面梁）的连接焊缝长度不宜小于 80mm。

2）6 度和 7 度时有天窗厂房单元的端开间，或 8 度和 9 度时各开间，宜将垂直屋架方向两侧相邻的大型屋面板的顶面彼此焊牢。

3）8 度和 9 度时，大型屋面板端头底面的预埋件宜采用角钢并与主筋焊牢。

4）非标准屋面板宜采用装配整体式接头，或将板四角切掉后与屋架（屋面梁）焊牢。

5）屋架（屋面梁）端部顶面预埋件的锚筋，8 度时不宜少于 4ϕ10，9 度时不宜少于 4ϕ12。

6）支撑的布置宜符合《抗震规范》表 9.1.16-1 的要求，有中间井式天窗时宜符合《抗震规范》表 9.1.16-2 的要求；8 度和 9 度跨度不大于 15m 的厂房屋盖采用屋面梁时，可仅在厂房单元两端各设竖向支撑一道；单坡屋面梁的屋盖支撑布置，宜按屋架端部高度大于 900mm 的屋盖支撑布置执行。

（3）屋盖支撑尚应符合下列要求：

1）天窗开洞范围内，在屋架脊点处应设上弦通长水平压杆；8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度时，梯形屋架端部上节点应沿厂房纵向设置通长水平压杆。

2）屋架跨中竖向支撑在跨度方向的间距，6～8 度时不大于 15m，9 度时不大于 12m；当仅在跨中设一道时，应设在跨中屋架屋脊处；当设两道时，应在跨度方向均匀布置。

3）屋架上、下弦通长水平系杆与竖向支撑宜配合设置。

4）柱距不小于 12m 且屋架间距 6m 的厂房，托架（梁）区段及其相邻开间应设下弦纵向水平支撑。

5）屋盖支撑杆件宜用型钢。

（4）突出屋面的混凝土天窗架，其两侧墙板与天窗立柱宜采用螺栓连接。

（5）混凝土屋架的截面和配筋，应符合下列要求：

1）屋架上弦第一节间和梯形屋架端竖杆的配筋，6 度和 7 度时不宜少于 4ϕ12，8 度和 9 度时不宜少于 4ϕ14。

2）梯形屋架的端竖杆的截面宽度宜与上弦宽度相同。

3）拱形和折线形屋架上弦端部支撑屋面板的小立柱，截面不宜小于 200mm×200mm，高度不宜大于 500mm，主筋宜采用Π形，6 度和 7 度时不宜少于 4ϕ12，8 度和 9 度时不宜少于 4ϕ14，箍筋可采用 ϕ6，间距不宜大于 100mm。

（6）厂房柱间支撑的设置和构造，应符合下列要求：

1）厂房柱间支撑的设置和构造，应符合下列规定：

① 一般情况下，应在厂房单元中部设置上、下柱间支撑，且下柱支撑应与上柱支撑配套设置；

② 有起重机或 8 度和 9 度时，宜在厂房单元两端增设上柱支撑；

③ 厂房单元较长或 8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度时，可在厂房单元中部 1/3 区段内设置两道柱间支撑。

2）柱间支撑应采用型钢，支撑形式宜采用交叉式，其斜杆与水平面的交角不宜大于 55°。

3）支撑杆件的长细比，不应超过表 15-51 的规定。

4）下柱支撑的下节点位置和构造措施，应保证将地震作用直接传给基础；当 6 度和 7 度（0.10g）不能直接传给基础时，应计及支撑对柱和基础的不利影响采取加强措施。

交叉支撑斜杆的最大长细比　　表 15-51

位　置	烈　度			
	6 度和 7 度 Ⅰ、Ⅱ类场地	7 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 8 度Ⅰ、Ⅱ类场地	8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度Ⅰ、Ⅱ类场地	9 度Ⅲ、Ⅳ类场地
上柱支撑	250	250	200	150
下柱支撑	200	150	120	120

5）交叉支撑在交叉点应设置节点板，其厚度不应小于 10mm，斜杆与交叉节点板应焊接，与端节点板宜焊接。

（7）8 度时跨度不小于 18m 的多跨厂房中柱和 9 度时多跨厂房各柱，柱顶宜设置通长水平压杆，此压杆可与梯形屋架支座处通长水平系杆合并设置，钢筋混凝土系杆端头与屋架间的空隙应采用混凝土填实。

【要点】

◆有檩屋盖主要指波形瓦（石棉瓦及槽瓦）屋盖，属于轻屋盖；有檩屋盖只要设置保证屋盖整体刚度的支撑体系，屋面瓦与檩条间以及檩条与屋架间拉结牢固，具有一定的抗震能力。

◆无檩屋盖指各类不用檩条的钢筋混凝土屋面板及屋架（梁）组成的屋盖，属于重屋盖，应用较多。无檩屋盖通过屋盖支撑将各构件间相互连成整体，保证屋盖具有足够的整体性，是厂房抗震的重要保证。

◆当厂房单元较长时或 8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度时，温度应力及纵向地震作用效应较大，在设置一道下柱支撑不能满足要求时，可设置两道下柱支撑，但两道下柱支撑应在厂房单元中部 1/3 区段内设置，不宜设置在厂房端部。同时两道下柱支撑应适当拉开距离，以利于缩短地震作用的传递路线，见图 15-26。

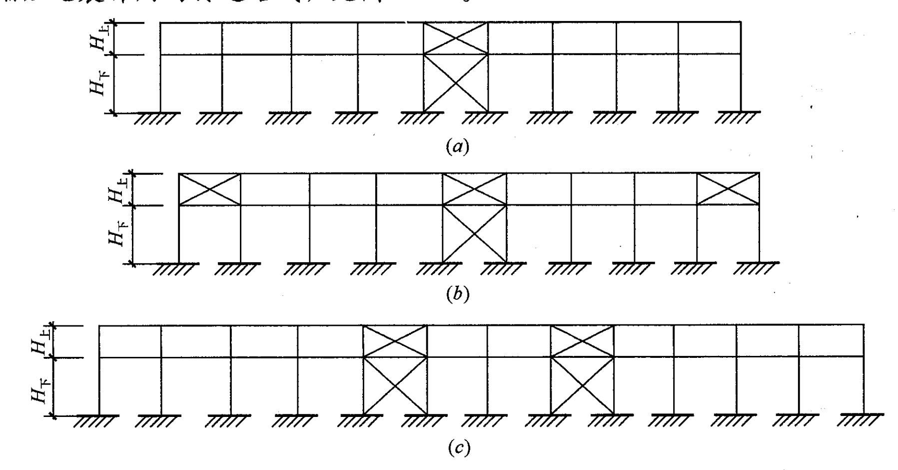


图 15-26　厂房柱间支撑设置

（a）厂房中部设置上、下柱间支撑；（b）厂房单元两端增设上柱支撑；（c）厂房较长时在房屋中部设置柱间支撑

（二）单层钢结构厂房

钢结构厂房抗震性能好于其他结构厂房，地震作用下，震害不算严重，但也有损坏和坍塌。

1. 一般规定

（1）本条主要适用于钢柱、钢屋架或钢屋面梁承重的单层厂房。

单层的轻型钢结构厂房的抗震设计，应符合专门的规定。

（2）厂房的结构体系应符合下列要求：

1）厂房的横向抗侧力体系，可采用刚接框架、铰接框架、门式刚架或其他结构体系。厂房的纵向抗侧力体系，8、9 度应采用柱间支撑；6、7 度宜采用柱间支撑，也可采用刚接框架。

2）厂房内设有桥式起重机时，起重机梁系统的构件与厂房框架柱的连接应能可靠地传递纵向水平地震作用。

3）屋盖应设置完整的屋盖支撑系统。屋盖横梁与柱顶铰接时，宜采用螺栓连接。

（3）厂房的平面布置、钢筋混凝土屋面板和天窗架的设置要求等，可参照本节第五、（一）（单层钢筋混凝土柱厂房）的有关规定。当设置防震缝时，其缝宽不宜小于单层混凝土柱厂房防震缝宽度的 1.5 倍。

（4）厂房的围护墙板应符合本节第九、（二）（非结构构件）的有关规定。

2. 抗震构造措施

（1）厂房的屋盖支撑应符合下列要求：

1）无檩屋盖的支撑系统布置，宜符合表 15-52 的要求。

无檩屋盖的支撑系统布置 **表 15-52**

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">支撑名称</th><th colspan="3">烈　度</th></tr>
<tr><th>6、7</th><th>8</th><th>9</th></tr>
<tr><td rowspan="5">屋架支撑</td><td colspan="2">上、下弦横向支撑</td><td>屋架跨度小于 18m 时同非抗震设计；屋架跨度不小于 18m 时，在厂房单元端开间各设一道</td><td colspan="2">厂房单元端开间及上柱支撑开间各设一道；天窗开洞范围的两端各增设局部上弦支撑一道；当屋架端部支承在屋架上弦时，其下弦横向支撑同非抗震设计</td></tr>
<tr><td colspan="2">上弦通长水平系杆</td><td rowspan="4">同非抗震设计</td><td colspan="2">在屋脊处、天窗架竖向支撑处、横向支撑节点处和屋架两端处设置</td></tr>
<tr><td colspan="2">下弦通长水平系杆</td><td colspan="2">屋架竖向支撑节点处设置；当屋架与柱刚接时，在屋架端节间处按控制下弦平面外长细比不大于 150 设置</td></tr>
<tr><td rowspan="2">竖向支撑</td><td>屋架跨度小于 30m</td><td>厂房单元两端开间及上柱支撑各开间屋架端部各设一道</td><td>同 8 度，且每隔 42m 在屋架端部设置</td></tr>
<tr><td>屋架跨度大于等于 30m</td><td>厂房单元的端开间，屋架 1/3 跨度处和上柱支撑开间内的屋架端部设置，并与上、下弦横向支撑相对应</td><td>同 8 度，且每隔 36m 在屋架端部设置</td></tr>
</table>

续表

支撑名称			烈度		
			6、7	8	9
纵向天窗架支撑	上弦横向支撑		天窗架单元两端开间各设一道	天窗架单元端开间及柱间支撑开间各设一道	
	竖向支撑	跨中	跨度不小于 12m 时设置，其道数与两侧相同	跨度不小于 9m 时设置，其道数与两侧相同	
		两侧	天窗架单元端开间及每隔 36m 设置	天窗架单元端开间及每隔 30m 设置	天窗架单元端开间及每隔 24m 设置

2）有檩屋盖的支撑系统布置，宜符合表 15-53 要求。

有檩屋盖的支撑系统布置　　表 15-53

支撑名称		烈度		
		6、7	8	9
屋架支撑	上弦横向支撑	厂房单元端开间及每隔 60m 各设一道	厂房单元端开间及上柱柱间支撑开间各设一道	同 8 度，且天窗开洞范围的两端各增设局部上弦横向支撑一道
	下弦横向支撑	同非抗震设计；当屋架端部支承在屋架下弦时，同上弦横向支撑		
	跨中竖向支撑	同非抗震设计		屋架跨度大于等于 30m 时，跨中增设一道
	两侧竖向支撑	屋架端部高度大于 900mm 时，厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道		
	下弦通长水平系杆	同非抗震设计	屋架两端和屋架竖向支撑处设置；与柱刚接时，屋架端节间处按控制下弦平面外长细比不大于 150 设置	
纵向天窗架支撑	上弦横向支撑	天窗架单元两端开间各设一道	天窗架单元两端开间及每隔 54m 各设一道	天窗架单元两端开间及每隔 48m 各设一道
	两侧竖向支撑	天窗架单元端开间及每隔 42m 各设一道	天窗架单元端开间及每隔 36m 各设一道	天窗架单元端开间及每隔 24m 各设一道

3）当轻型屋盖采用实腹屋面梁、柱刚性连接的刚架体系时，屋盖水平支撑可布置在屋面梁的上翼缘平面。屋面梁下翼缘应设置隅撑侧向支承，隅撑的另一端可与屋面檩条连接。屋盖横向支撑、纵向天窗架支撑的布置可参照无檩屋盖和有檩屋盖的支撑系统布置要求。

4）屋盖纵向水平支撑的布置，尚应符合下列规定：

① 当采用托架支承屋盖横梁的屋盖结构时，应沿厂房单元全长设置纵向水平支撑；

② 对于高低跨厂房，在低跨屋盖横梁端部支承处，应沿屋盖全长设置纵向水平支撑；

③ 纵向柱列局部柱间采用托架支承屋盖横梁时，应沿托架的柱间及向其两侧至少各延伸一个柱间设置屋盖纵向水平支撑；

④ 当设置沿结构单元全长的纵向水平支撑时，应与横向水平支撑形成封闭的水平支撑体系。多跨厂房屋盖纵向水平支撑的间距不宜超过两跨，不得超过三跨；高跨和低跨宜

按各自的标高组成相对独立的封闭支撑体系。

5）支撑杆宜采用型钢；设置交叉支撑时，支撑杆的长细比限值可取 350。

（2）厂房框架柱的长细比限值应符合《抗震规范》的要求。

（3）厂房框架柱、梁的板件宽厚比应符合《抗震规范》的要求。

注：腹板的宽厚比，可通过设置纵向加劲肋减小。

（4）柱间支撑应符合下列要求：

1）厂房单元的各纵向柱列，应在厂房单元中部布置一道下柱柱间支撑；当 7 度厂房单元长度大于 120m（采用轻型围护材料时为 150m）、8 度和 9 度厂房单元大于 90m（采用轻型围护材料时为 120m）时，应在厂房单元 1/3 区段内各布置一道下柱支撑；当柱距数不超过 5 个且厂房长度小于 60m 时，亦可在厂房单元的两端布置下柱支撑。

上柱柱间支撑应布置在厂房单元两端和具有下柱支撑的柱间。

2）柱间支撑宜采用 X 形支撑，条件限制时也可采用 V 形、Λ 形及其他形式的支撑。X 形支撑斜杆与水平面的夹角、支撑斜杆交叉点的节点板厚度，应符合本节五、（一）（单层钢筋混凝土柱厂房）的规定。

3）柱间支撑杆件的长细比限值，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

4）柱间支撑宜采用整根型钢，当热轧型钢超过材料最大长度规格时，可采用拼接等强接长。

5）有条件时，可采用消能支撑。

（5）柱脚应能可靠传递柱身承载力，宜采用埋入式、插入式或外包式柱脚，6、7 度时也可采用外露式柱脚。柱脚设计应符合下列要求：

1）实腹式钢柱采用埋入式、插入式柱脚的埋入深度，应由计算确定，且不得小于钢柱截面高度的 2.5 倍。

2）格构式柱采用插入式柱脚的埋入深度，应由计算确定，其最小插入深度不得小于单肢截面高度（或外径）的 2.5 倍，且不得小于柱总宽度的 0.5 倍。

3）采用外包式柱脚时，实腹 H 形截面柱的钢筋混凝土外包高度不宜小于 2.5 倍的钢结构截面高度，箱形截面柱或圆管截面柱的钢筋混凝土外包高度不宜小于 3.0 倍的钢结构截面高度或圆管截面直径。

4）当采用外露式柱脚时，柱脚极限承载力不宜小于柱截面塑性屈服承载力的 1.2 倍。柱脚锚栓不宜用以承受柱底水平剪力，柱底剪力应由钢底板与基础间的摩擦力或设置抗剪键及其他措施承担。柱脚锚栓应可靠锚固。

（三）单层砖柱厂房

砖柱厂房整体性差，震害严重且不易修复，有条件时应尽量选择采用钢筋混凝土柱厂房或钢结构厂房。必须采用时，对适用范围和抗震设计要求有具体规定，详见《抗震规范》第 9.3 节。

例 15-45　(14-76) 设防烈度为 8 度的单层钢结构厂房，正确的抗侧力结构体系是：

A　横向采用刚接框架，纵向采用铰接框架

B　横向采用铰接框架，纵向采用刚接框架

C　横向采用铰接框架，纵向采用柱间支撑

D　横向采用柱间支撑，纵向采用刚性框架

提示：厂房的横向抗侧力体系，可采用刚接框架、铰接框架、门式刚架或其他结构体系。厂房的纵向抗侧力体系，8、9度应采用柱间支撑；6、7度宜采用柱间支撑，也可采用刚接框架。

钢结构厂房一般纵向均应设置柱间支撑，地震作用主要由支撑承担和传递；采用刚性框架作为主要抗侧力结构承担和传递地震作用的抗震效果差、费用高，很少采用。

答案：C

规范：《抗震规范》第9.2.2条第1款。

六、空旷房屋和大跨屋盖建筑

（一）单层空旷房屋

单层空旷房屋是一组不同类型的结构组成的建筑，包含有单层的观众厅和多层的前后左右的附属用房。

1. 一般规定

（1）本条适用于较空旷的单层大厅和附属房屋组成的公共建筑。

（2）大厅、前厅、舞台之间，不宜设防震缝分开；大厅与两侧附属房屋之间可不设防震缝。但不设缝时应加强连接。

（3）单层空旷房屋大厅屋盖的承重结构，在下列情况下不应采用砖柱：

1）7度（0.15g）、8度、9度时的大厅。

2）大厅内设有挑台。

3）7度（0.10g）时，大厅跨度大于12m或柱顶高度大于6m。

4）6度时，大厅跨度大于15m或柱顶高度大于8m。

（4）单层空旷房屋大厅屋盖的承重结构，除上面第（3）条的规定者外，可在大厅纵墙屋架支点下增设钢筋混凝土-砖组合壁柱，不得采用无筋砖壁柱。

（5）前厅结构布置应加强横向的侧向刚度，大门处壁柱和前厅内独立柱应采用钢筋混凝土柱。

（6）前厅与大厅、大厅与舞台连接处的横墙，应加强侧向刚度，设置一定数量的钢筋混凝土抗震墙。

（7）大厅部分其他要求可参照本节五、（单层工业厂房），附属房屋应符合《抗震规范》的有关规定。

2. 抗震构造措施

（1）大厅的屋盖构造，应符合本节五、（单层工业厂房）的规定。

（2）大厅的钢筋混凝土柱和组合砖柱应符合下列要求：

1）组合砖柱纵向钢筋的上端应锚入屋架底部的钢筋混凝土圈梁内。

2）钢筋混凝土柱应按抗震等级不低于二级的框架柱设计，其配筋量应按计算确定。

（3）前厅与大厅，大厅与舞台间轴线上横墙，应符合下列要求：

1）应在横墙两端，纵向梁支点及大洞口两侧设置钢筋混凝土框架柱或构造柱。

2）嵌砌在框架柱间的横墙应有部分设计成抗震等级不低于二级的钢筋混凝土抗震墙。

3）舞台口的柱和梁应采用钢筋混凝土结构，舞台口大梁上承重砌体墙应设置间距不大于4m的立柱和间距不大于3m的圈梁，立柱、圈梁的截面尺寸、配筋及与周围砌体的拉结应符合多层砌体房屋的要求。

4）9度时，舞台口大梁上的墙体应采用轻质隔墙。

（4）大厅柱（墙）顶标高处应设置现浇圈梁，并宜沿墙高每隔3m左右增设一道圈梁。梯形屋架端部高度大于900mm时还应在上弦标高处增设一道圈梁。圈梁的截面高度不宜小于180mm，宽度宜与墙厚相同，纵筋不应少于4ϕ12，箍筋间距不宜大于200mm。

（5）大厅与两侧附属房屋间不设防震缝时，应在同一标高处设置封闭圈梁并在交接处拉通，墙体交接处应沿墙高每隔400mm在水平灰缝内设置拉结钢筋网片，且每边伸入墙内不宜小于1m。

（6）悬挑式挑台应有可靠的锚固和防止倾覆的措施。

（7）山墙应沿屋面设置钢筋混凝土卧梁，并应与屋盖构件锚拉；山墙应设置钢筋混凝土柱或组合柱，其截面和配筋分别不宜小于排架柱或纵墙组合柱，并应通到山墙的顶端与卧梁连接。

（8）舞台后墙、大厅与前厅交接处的高大山墙，应利用工作平台或楼层作为水平支撑。

【要点】

◆前厅与大厅、大厅与舞台之间的墙体是单层空旷房屋的主要抗侧力构件，承担横向地震作用，因此应根据抗震设防烈度及房屋的跨度、高度等因素，设置一定数量的抗震墙。

◆舞台口梁为悬梁，上部支承有舞台上的屋架，受力复杂，在地震作用下破坏较多。因此舞台口墙要加强与大厅屋盖体系的拉结，用钢筋混凝土墙体、立柱和水平圈梁来加强自身的整体性和稳定性。9度时不应采用舞台口砌体墙承重。

◆大厅四周的墙体一般较高，需增设多道水平圈梁来加强整体性和稳定性。特别是墙顶标高处的圈梁更为重要。

◆大厅与两侧的附属房屋之间一般不设防震缝，其交接处受力较大，要加强连接，以增加房屋整体性。

（二）大跨屋盖建筑

《抗震规范》适用的大跨屋盖建筑是指与传统板式、梁板式屋盖结构相区别，且有更大跨越能力的屋盖体系，包括：拱、平面桁架、立体桁架、网架、网壳、张弦梁、弦支穹顶等基本形式，以及由这些基本形式组合而成的结构，不应单从跨度大小的角度来理解大跨屋盖建筑结构。

1. 一般规定

（1）本条适用于采用拱、平面桁架、立体桁架、网架、网壳、张弦梁、弦支穹顶等基本形式及其组合而成的大跨度钢屋盖建筑。

采用非常用形式以及跨度大于120m、结构单元长度大于300m或悬挑长度大于40m的大跨钢屋盖建筑的抗震设计，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施。

（2）屋盖及其支承结构的选型和布置，应符合下列各项要求：

1）应能将屋盖的地震作用有效地传递到下部支承结构。

2）应具有合理的刚度和承载力分布，屋盖及其支承的布置宜均匀对称。

3）宜优先采用两个水平方向刚度均衡的空间传力体系。

4）结构布置宜避免因局部削弱或突变形成薄弱部位，产生过大的内力、变形集中。对于可能出现的薄弱部位，应采取措施提高其抗震能力。

5）宜采用轻型屋面系统。

6）下部支承结构应合理布置，避免使屋盖产生过大的地震扭转效应。

（3）屋盖体系的结构布置，尚应分别符合下列要求：

1）单向传力体系的结构布置，应符合下列规定：

① 主结构（桁架、拱、张弦梁）间应设置可靠的支撑，保证垂直于主结构方向的水平地震作用的有效传递；

② 当桁架支座采用下弦节点支承时，应在支座间设置纵向桁架或采取其他可靠措施，防止桁架在支座处发生平面外扭转。

2）空间传力体系的结构布置，应符合下列规定：

① 平面形状为矩形且三边支承一边开口的结构，其开口边应加强，保证足够的刚度；

② 两向正交正放网架、双向张弦梁，应沿周边支座设置封闭的水平支撑；

③ 单层网壳应采用刚接节点。

注：单向传力体系指平面拱、单向平面桁架、单向立体桁架、单向张弦梁等结构形式；空间传力体系指网架、网壳、双向立体桁架、双向张弦梁和弦支穹顶等结构形式，见表15-54。

大跨屋盖传力体系的结构形式　　　表15-54

单向传力体系	平面拱	单向平面桁架	单向立体桁架	单向张弦梁等
空间传力体系	网架	网壳	双向立体桁架	双向张弦梁、弦支穹顶等

【要点】

◆单向传力体系的抗震薄弱环节在垂直于主结构（桁架、张弦梁）方向的水平地震作用传递以及主结构的平面外稳定性，设置可靠的屋盖支撑是重要的抗震措施。

◆空间传力结构体系具有良好的整体性和空间受力的特点，抗震性能优于单向传力体系。

（4）当屋盖分区域采用不同的结构形式时，交界区域的杆件和节点应加强；也可设置防震缝，缝宽不宜小于150mm。

（5）屋面围护系统、吊顶及悬吊物等非结构构件应与结构可靠连接，其抗震措施应符合本节九、（非结构构件）的有关规定。

2. 抗震构造措施

（1）屋盖钢杆件的长细比宜符合表15-55的规定：

钢杆件的长细比限值表　　　表15-55

杆件类型	受　拉	受　压	压　弯	拉　弯
一般杆件	250	180	150	250
关键杆件	200	150（120）	150（120）	200

注：1. 括号内数值用于8、9度；

2. 表列数据不适用于拉索等柔性构件。

【要点】杆件长细比限值参考了《钢结构设计规范》和《空间网格结构技术规程》的相关规定，并做了适当加强。应一并对照复习，理解长细比的概念。

（2）屋盖构件节点的抗震构造应符合下列要求：

1）采用节点板连接各杆件时，节点板的厚度不宜小于连接杆件最大壁厚的 1.2 倍。

2）采用相贯节点时，应将内力较大方向的杆件直通。直通杆件的壁厚不应小于焊于其上各杆件的壁厚。

3）采用焊接球节点时，球体的壁厚不应小于相连杆件最大壁厚的 1.3 倍。

4）杆件宜相交于节点中心。

（3）支座的抗震构造应符合下列要求：

1）应具有足够的强度和刚度，在荷载作用下不应先于杆件和其他节点破坏，也不得产生不可忽略的变形。支座节点构造形式应传力可靠、连接简单，并符合计算假定。

2）对于水平可滑动的支座，应保证屋盖在罕遇地震下的滑移不超出支承面，并应采取限位措施。

3）8、9 度时，多遇地震下只承受竖向压力的支座，宜采用拉压型构造。

（4）屋盖结构采用隔震及减震支座时，其性能参数、耐久性及相关构造应符合本节八、（隔震和消能减震设计）的有关规定。

例 15-46　(14-100) 关于抗震设计的大跨度屋盖及其支承结构选型和布置的说法，正确的是：

A　宜采用整体性较好的刚性屋面系统

B　宜优先采用两个水平方向刚度均衡的空间传力体系

C　采用常用的结构形式，当跨度大于 60m 时，应进行专门研究和论证

D　下部支承结构布置不应对屋盖结构产生地震扭转效应

提示：宜优先采用两个水平方向刚度均衡的空间传力体系。

答案：B

规范：《抗震规范》第 10.2.1 条、第 10.2.2 条第 3、5、6 款。

七、土、木、石结构房屋

（一）一般规定

1. 土、木、石结构房屋的建筑、结构布置应符合下列要求：

（1）房屋的平面布置应避免拐角或突出。

（2）纵横向承重墙的布置宜均匀对称，在平面内宜对齐，沿竖向应上下连续；在同一轴线上，窗间墙的宽度宜均匀。

（3）多层房屋的楼层不应错层，不应采用板式单边悬挑楼梯。

（4）不应在同一高度内采用不同材料的承重构件。

（5）屋檐外挑梁上不得砌筑砌体。

2. 木楼、屋盖房屋应在下列部位采取拉结措施：

（1）两端开间屋架和中间隔开间屋架应设置竖向剪刀撑；

（2）在屋檐高度处应设置纵向通长水平系杆，系杆应采用墙揽与各道横墙连接或与木梁、屋架下弦连接牢固；纵向水平系杆端部宜采用木夹板对接，墙揽可采用方木、角铁等材料；

(3) 山墙、山尖墙应采用墙揽与木屋架、木构架或檩条拉结；

(4) 内隔墙墙顶应与梁或屋架下弦拉结。

3. 木楼、屋盖构件的支承长度应不小于表 15-56 的规定：

木楼、屋盖构件的最小支承长度（mm）　　表 15-56

构件名称	木屋架、木梁	对接木龙骨、木檩条		搭接木龙骨、木檩条
位置	墙上	屋架上	墙上	屋架上、墙上
支承长度与连接方式	240（木垫板）	60（木夹板与螺栓）	120（木夹板与螺栓）	满搭

4. 门窗洞口过梁的支承长度，6～8 度时不应小于 240mm，9 度时不应小于 360mm。

5. 当采用冷摊瓦屋面时，底瓦的弧边两角宜设置钉孔，可采用铁钉与椽条钉牢；盖瓦与底瓦宜采用石灰或水泥砂浆压垄等做法与底瓦粘结牢固。

6. 土木石房屋突出屋面的烟囱、女儿墙等易倒塌构件的出屋面高度，6、7 度时不应大于 600mm；8 度（0.20g）时不应大于 500mm；8 度（0.30g）和 9 度时不应大于 400mm。并应采取拉结措施。

注：坡屋面上的烟囱高度由烟囱的根部上沿算起。

7. 土木石房屋的结构材料应符合下列要求：

(1) 木构件应选用干燥、纹理直、节疤少、无腐朽的木材。

(2) 生土墙体土料应选用杂质少的黏性土。

(3) 石材应质地坚实，无风化、剥落和裂纹。

8. 土木石房屋的施工应符合下列要求：

(1) HPB300 钢筋端头应设置 180°弯钩。

(2) 外露铁件应做防锈处理。

（二）生土房屋

1. 本条适用于 6 度、7 度（0.10g）未经焙烧的土坯、灰土和夯土承重墙体的房屋及土窑洞、土拱房。

注：① 灰土墙指掺石灰（或其他粘结材料）的土筑墙和掺石灰土坯墙；

② 土窑洞指未经扰动的原土中开挖而成的崖窑。

2. 生土房屋的高度和承重横墙墙间距应符合下列要求：

(1) 生土房屋宜建单层，灰土墙房屋可建二层，但总高度不应超过 6m。

(2) 单层生土房屋的檐口高度不宜大于 2.5m。

(3) 单层生土房屋的承重横墙间距不宜大于 3.2m。

(4) 窑洞净跨不宜大于 2.5m。

3. 生土房屋的屋盖应符合下列要求：

(1) 应采用轻屋面材料。

(2) 硬山搁檩房屋宜采用双坡屋面或弧形屋面，檩条支承处应设垫木；端檩应出檐，内墙上檩条应满搭或采用夹板对接和燕尾榫加扒钉连接。

(3) 木屋盖各构件应采用圆钉、扒钉、钢丝等相互连接。

(4) 木屋架、木梁在外墙上宜满搭，支承处应设置木圈梁或木垫板；木垫板的长度、

宽度和厚度分别不宜小于500mm、370mm和60mm；木垫板下应铺设砂浆垫层或黏土石灰浆垫层。

4. 生土房屋的承重墙体应符合下列要求：

（1）承重墙体门窗洞口的宽度，6、7度时不应大于1.5m。

（2）门窗洞口宜采用木过梁；当过梁由多根木杆组成时，宜采用木板、扒钉、铅丝等将各根木杆连接成整体。

（3）内外墙体应同时分层交错夯筑或咬砌。外墙四角和内外墙交接处，应沿墙高每隔500mm左右放置一层竹筋、木条、荆条等编织的拉结网片，每边伸入墙体应不小于1000mm或至门窗洞边，拉结网片在相交处应绑扎；或采取其他加强整体性的措施。

5. 各类生土房屋的地基应夯实，应采用毛石、片石、凿开的卵石或普通砖基础，基础墙应采用混合砂浆或水泥砂浆砌筑。外墙宜做墙裙防潮处理（墙脚宜设防潮层）。

6. 土坯宜采用黏性土湿法成型并宜掺入草苇等拉结材料；土坯应卧砌并宜采用黏土浆或黏土石灰浆砌筑。

7. 灰土墙房屋应每层设置圈梁，并在横墙上拉通；内纵墙顶面宜在山尖墙两侧增砌踏步式墙垛。

8. 土拱房应多跨连接布置，各拱脚均应支承在稳固的崖体上或支承在人工土墙上；拱圈厚度宜为300～400mm，应支模砌筑，不应后倾贴砌；外侧支承墙和拱圈上不应布置门窗。

9. 土窑洞应避开易产生滑坡、山崩的地段；开挖窑洞的崖体应土质密实、土体稳定、坡度较平缓、无明显的竖向节理；崖窑前不宜接砌土坯或其他材料的前脸；不宜开挖层窑，否则应保持足够的间距，且上、下不宜对齐。

（三）木结构房屋

1. 本节适用于6～9度的穿斗木构架、木柱木屋架和木柱木梁等房屋。

2. 木结构房屋不应采用木柱与砖柱或砖墙等混合承重；山墙应设置端屋架（木梁），不得采用硬山搁檩。

3. 木结构房屋的高度应符合下列要求：

（1）木柱木屋架和穿斗木构架房屋，6～8度时不宜超过二层，总高度不宜超过6m；9度时宜建单层，高度不应超过3.3m。

（2）木柱木梁房屋宜建单层，高度不宜超过3m。

4. 礼堂、剧院、粮仓等较大跨度的空旷房屋，宜采用四柱落地的三跨木排架。

5. 木屋架屋盖的支撑布置，应符合本节五、（三）（单层砖柱厂房）的有关规定，但房屋两端的屋架支撑，应设置在端开间。

6. 木柱木屋架和木柱木梁房屋应在木柱与屋架（或梁）间设置斜撑；横隔墙较多的居住房屋应在非抗震隔墙内设斜撑；斜撑宜采用木夹板，并应通到屋架的上弦。

7. 穿斗木构架房屋的横向和纵向均应在木柱的上、下柱端和楼层下部设置穿枋，并应在每一纵向柱列间设置1～2道剪刀撑或斜撑。

8. 木结构房屋的构件连接，应符合下列要求：

（1）柱顶应有暗榫插入屋架下弦，并用U形铁件连接；8、9度时，柱脚应采用铁件或其他措施与基础锚固。柱础埋入地面以下的深度不应小于200mm。

（2）斜撑和屋盖支撑结构，均应采用螺栓与主体构件相连接；除穿斗木构件外，其他木构件宜采用螺栓连接。

（3）椽与檩的搭接处应满钉，以增强屋盖的整体性。木构架中，宜在柱檐口以上沿房屋纵向设置竖向剪刀撑等措施，以增强纵向稳定性。

9. 木构件应符合下列要求：

（1）木柱的梢径不宜小于150mm；应避免在柱的同一高度处纵横向同时开槽，且在柱的同一截面开槽面积不应超过截面总面积的1/2。

（2）柱子不能有接头。

（3）穿枋应贯通木构架各柱。

10. 围护墙应符合下列要求：

（1）围护墙与木柱的拉结应符合下列要求：

1）沿墙高每隔500mm左右，应采用8号钢丝将墙体内的水平拉结筋或拉结网片与木柱拉结；

2）配筋砖圈梁、配筋砂浆带与木柱应采用$\phi6$钢筋或8号钢丝拉结。

（2）土坯砌筑的围护墙，洞口宽度应符合本章（二）（生土房屋）的要求。砖等砌筑的围护墙，横墙和内纵墙上的洞口宽度不宜大于1.5m，外纵墙上的洞口宽度不宜大于1.8m或开间尺寸的一半。

（3）土坯、砖等砌筑的围护墙不应将木柱完全包裹，应贴砌在木柱外侧。

例15-47　（14-71） 地震区轻型木结构房屋梁与柱的连接做法，正确的是：

A　螺栓连接　　　　B　钢钉连接

C　齿连接　　　　D　榫式连接

提示： 轻型木结构构件之间应有可靠连接，主要是钉连接。有抗震设防要求的轻型木结构，连接中关键部位应采用螺栓连接。

答案： A

规范：《抗震规范》第11.3.8条第2款；《木结构设计规范》第9.3.15条。

（四）石结构房屋

1. 本条适用于6～8度，砂浆砌筑的料石砌体（包括有垫片或无垫片）承重的房屋。

2. 多层石砌体房屋的总高度和层数不应超过表15-57的规定。

多层石砌体房屋总高度（m）和层数限值　　**表15-57**

墙体类别	烈度					
	6		7		8	
	高度	层数	高度	层数	高度	层数
细、半细料石砌体（无垫片）	16	五	13	四	10	三
粗料石及毛料石砌体（有垫片）	13	四	10	三	7	二

注：1. 房屋总高度的计算同本书表15-31注。

2. 横墙较少的房屋，总高度应降低3m，层数相应减少一层。

3. 多层石砌体房屋的层高不宜超过 3m。

4. 多层石砌体房屋的抗震横墙间距，不应超过表 15-58 的规定。

多层石砌体房屋的抗震横墙间距（m）　　表 15-58

楼、屋盖类型	烈度		
	6	7	8
现浇及装配整体式钢筋混凝土	10	10	7
装配式钢筋混凝土	7	7	4

5. 多层石砌体房屋，宜采用现浇或装配整体式钢筋混凝土楼、屋盖。

6. 石墙的截面抗震验算，可参照《抗震规范》第 7.2 节；其抗剪强度应根据试验数据确定。

7. 多层石砌体房屋应在外墙四角、楼梯间四角和每开间的内外墙交接处设置钢筋混凝土构造柱。

8. 抗震横墙洞口的水平截面面积，不应大于全截面面积的 1/3。

9. 每层的纵横墙均应设置圈梁，其截面高度不应小于 120mm，宽度宜与墙厚相同，纵向钢筋不应小于 4ϕ10，箍筋间距不宜大于 200mm。

10. 无构造柱的纵横墙交接处，应采用条石无垫片砌筑，且应沿墙高每隔 500mm 设置拉结钢筋网片，每边每侧伸入墙内不宜小于 1m。

11. 不应采用石板作为承重构件。

12. 其他有关抗震构造措施要求，参照本节二、（多层砌体房屋和底部框架砌体房屋）的相关规定。

八、隔震和消能减震设计

一般规定

1. 本条适用于设置隔震层以隔离水平地震动的房屋隔震设计，以及设置消能部件吸收与消耗地震能量的房屋消能减震设计。

采用隔震和消能减震设计的建筑结构，应符合《抗震规范》第 3.8.1 条的规定，其抗震设防目标应符合《抗震规范》第 3.8.2 条的规定。

注：① 隔震设计指在房屋基础、底部或下部结构与上部结构之间设置由橡胶隔震支座和阻尼装置等部件组成具有整体复位功能的隔震层，以延长整个结构体系的自振周期，减少输入上部结构的水平地震作用，达到预期防震要求。

② 消能减震设计指在房屋结构中设置消能器，通过消能器的相对变形和相对速度提供附加阻尼，以消耗输入结构的地震能量，达到预期防震减震要求。

2. 建筑结构隔震设计和消能减震设计确定设计方案时，除应符合《抗震规范》第 3.5.1 条的规定外，尚应与采用抗震设计的方案进行对比分析。

3. 建筑结构采用隔震设计时应符合下列各项要求：

（1）结构高宽比宜小于 4，且不应大于相关规范规程对非隔震结构的具体规定，其变形特征接近剪切变形，最大高度应满足本规范非隔震结构的要求；高宽比大于 4 或非隔震结构相关规定的结构采用隔震设计时，应进行专门研究。

（2）建筑场地宜为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类，并应选用稳定性较好的基础类型。

(3) 风荷载和其他非地震作用的水平荷载标准值产生的总水平力不宜超过结构总重力的 10%。

(4) 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼；穿过隔震层的设备配管、配线，应采用柔性连接或其他有效措施，以适应隔震层的罕遇地震水平位移。

4. 消能减震设计可用于钢、钢筋混凝土、钢-混凝土混合等结构类型的房屋。

消能部件应对结构提供足够的附加阻尼，尚应根据其结构类型分别符合《抗震规范》相应章节的设计要求。

5. 隔震和消能减震设计时，隔震装置和消能部件应符合下列要求：

(1) 隔震装置和消能部件的性能参数应经试验确定。

(2) 隔震装置和消能部件的设置部位，应采取便于检查和替换的措施。

(3) 设计文件上应注明对隔震装置和消能部件的性能要求，安装前应按规定进行检测，确保性能符合要求。

6. 建筑结构的隔震设计和消能减震设计，尚应符合相关专门标准的规定；也可按抗震性能目标的要求进行性能化设计。

九、非结构构件

(一) 一般规定

1. 本条主要适用于非结构构件与建筑结构的连接。非结构构件包括持久性的建筑非结构构件和支承于建筑结构的附属机电设备。

注：① 建筑非结构构件指建筑中除承重骨架体系以外的固定构件和部件，主要包括非承重墙体，附着于楼面和屋面结构的构件、装饰构件和部件、固定于楼面的大型储物架等。

② 建筑附属机电设备指为现代建筑使用功能服务的附属机械、电气构件、部件和系统，主要包括电梯、照明和应急电源、通信设备，管道系统，采暖和空气调节系统，烟火监测和消防系统，公用天线等。

2. 非结构构件应根据所属建筑的抗震设防类别和非结构地震破坏的后果及其对整个建筑结构影响的范围，采取不同的抗震措施，达到相应的性能化设计目标。

建筑非结构构件和建筑附属机电设备实现抗震性能化设计目标的某些方法可按《抗震规范》附录 M 第 M. 2 节执行。

3. 当抗震要求不同的两个非结构构件连接在一起时，应按较高的要求进行抗震设计。其中一个非结构构件连接损坏时，应不致引起与之相连接的有较高要求的非结构构件失效。

4. 非结构构件应根据所属建筑的抗震设防类别和非结构构件地震破坏的后果及其对整个建筑结构影响的范围，划分为下列功能级别：

(1) 一级，地震破坏后可能导致甲类建筑使用功能的丧失或危及乙类、丙类建筑中的人员生命安全；

(2) 二级，地震破坏后可能导致乙类、丙类建筑的使用功能丧失或危及丙类建筑中的人员安全；

(3) 三级，除一、二级及丁类建筑以外的非结构构件。

注：《非结构构件抗震设计规范》JGJ 339—2015

(二) 建筑非结构构件的基本抗震措施

1. 建筑结构中，设置连接幕墙、围护墙、隔墙、女儿墙、雨篷、商标、广告牌、顶棚支架、大型储物架等建筑非结构构件的预埋件、锚固件的部位，应采取加强措施，以承受建筑非结构构件传给主体结构的地震作用。

2. 非承重墙体的材料、选型和布置，应根据烈度、房屋高度、建筑体型、结构层间变形、墙体自身抗侧力性能的利用等因素，经综合分析后确定，并应符合下列要求：

（1）非承重墙体宜优先采用轻质墙体材料；采用砌体墙时，应采取措施减少对主体结构的不利影响，并应设置拉结筋、水平系梁、圈梁、构造柱等与主体结构可靠拉结。

（2）刚性非承重墙体的布置，应避免使结构形成刚度和强度分布上的突变；当围护墙非对称均匀布置时，应考虑质量和刚度的差异对主体结构抗震不利的影响。

（3）墙体与主体结构应有可靠的拉结，应能适应主体结构不同方向的层间位移；8、9度时应具有满足层间变位的变形能力，与悬挑构件相连接时，尚应具有满足节点转动引起的竖向变形的能力。

（4）外墙板的连接件应具有足够的延性和适当的转动能力，宜满足在设防地震下主体结构层间变形的要求。

（5）砌体女儿墙在人流出入口和通道处应与主体结构锚固；非出入口无锚固的女儿墙高度，6～8度时不宜超过0.5m，9度时应有锚固。防震缝处女儿墙应留有足够的宽度，缝两侧的自由端应予以加强。

3. 多层砌体结构中，非承重墙体等建筑非结构构件应符合下列要求：

（1）后砌的非承重隔墙应沿墙高每隔500～600mm配置2ϕ6拉结钢筋与承重墙或柱拉结，每边伸入墙内不应少于500mm；8度和9度时，长度大于5m的后砌隔墙，墙顶尚应与楼板或梁拉结，独立墙肢端部及大门洞边宜设钢筋混凝土构造柱。

（2）烟道、风道、垃圾道等不应削弱墙体；当墙体被削弱时，应对墙体采取加强措施；不宜采用无竖向配筋的附墙烟囱或出屋面的烟囱。

（3）不应采用无锚固的钢筋混凝土预制挑檐。

4. 钢筋混凝土结构中的砌体填充墙，尚应符合下列要求：

（1）填充墙在平面和竖向的布置，宜均匀对称，宜避免形成薄弱层或短柱。

（2）砌体的砂浆强度等级不应低于M5；实心块体的强度等级不宜低于MU2.5，空心块体的强度等级不宜低于MU3.5；墙顶应与框架梁密切结合。

（3）填充墙应沿框架柱全高每隔500～600mm设2ϕ6拉筋，拉筋伸入墙内的长度，6、7度时宜沿墙全长贯通，8、9度时应全长贯通。

（4）墙长大于5m时，墙顶与梁宜有拉结；墙长超过8m或层高2倍时，宜设置钢筋混凝土构造柱；墙高超过4m时，墙体半高宜设置与柱连接且沿墙全长贯通的钢筋混凝土水平系梁。

（5）楼梯间和人流通道的填充墙，尚应采用钢丝网砂浆面层加强。

5. 单层钢筋混凝土柱厂房的围护墙和隔墙，尚应符合下列要求：

（1）厂房的围护墙宜采用轻质墙板或钢筋混凝土大型墙板，砌体围护墙应采用外贴式并与柱可靠拉结；外侧柱距为12m时应采用轻质墙板或钢筋混凝土大型墙板。

（2）刚性围护墙沿纵向宜均匀对称布置，不宜一侧为外贴式，另一侧为嵌砌式或开敞式；不宜一侧采用砌体墙，一侧采用轻质墙板。

（3）不等高厂房的高跨封墙和纵横向厂房交接处的悬墙宜采用轻质墙板，6、7 度采用砌体时不应直接砌在低跨屋面上。

（4）砌体围护墙在下列部位应设置现浇钢筋混凝土圈梁：

1）梯形屋架端部上弦和柱顶的标高处应各设一道，但屋架端部高度不大于 900mm 时可合并设置；

2）应按上密下稀的原则每隔 4m 左右在窗顶增设一道圈梁，不等高厂房的高低跨封墙和纵墙跨交接处的悬墙，圈梁的竖向间距不应大于 3m；

3）山墙沿屋面应设钢筋混凝土卧梁，并应与屋架端部上弦标高处的圈梁连接。

（5）圈梁的构造应符合下列规定：

1）圈梁宜闭合，圈梁截面宽度宜与墙厚相同，截面高度不应小于 180mm。

2）厂房转角处柱顶圈梁在端开间范围内的纵筋按规范要求设置。

3）圈梁应与柱或屋架牢固连接，山墙卧梁应与屋面板拉结；防震缝处圈梁与柱或屋架的拉结宜加强。

（6）墙梁宜采用现浇，当采用预制墙梁时，梁底应与砖墙顶面牢固拉结并应与柱锚拉；厂房转角处相邻的墙梁，应相互可靠连接。

（7）砌体隔墙与柱宜脱开或柔性连接，并应采取措施使墙体稳定，隔墙顶部应设现浇钢筋混凝土压顶梁。

（8）砖墙的基础，8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度时，预制基础梁应采用现浇接头；当另设条形基础时，在柱基础顶面标高处应设置连续的现浇钢筋混凝土圈梁。

（9）砌体女儿墙高度不宜大于 1m，且应采取措施防止地震时倾倒。

6. 钢结构厂房的围护墙，应符合下列要求：

（1）厂房的围护墙，应优先采用轻型板材，预制钢筋混凝土墙板宜与柱柔性连接；9 度时宜采用轻型板材。

（2）单层厂房的砌体围护墙应贴砌并与柱拉结，尚应采取措施使墙体不妨碍厂房柱列沿纵向的水平位移；8、9 度时不应采用嵌砌式。

7. 各类顶棚的构件与楼板的连接件，应能承受顶棚、悬挂重物和有关机电设施的自重和地震附加作用；其锚固的承载力应大于连接件的承载力。

8. 悬挑雨篷或一端由柱支承的雨篷，应与主体结构可靠连接。

9. 玻璃幕墙、预制墙板、附属于楼屋面的悬臂构件和大型储物架的抗震构造，应符合相关专门标准的规定。

（三）建筑附属机电设备支架的基本抗震措施

1. 附属于建筑的电梯、照明和应急电源系统、烟火监测和消防系统、采暖和空气调节系统、通信系统、公用天线等与建筑结构的连接构件和部件的抗震措施，应根据设防烈度、建筑使用功能、房屋高度、结构类型和变形特征、附属设备所处的位置和运转要求等经综合分析后确定。

2. 下列附属机电设备的支架可不考虑抗震设防要求：

（1）重力不超过 1.8kN 的设备。

（2）内径小于 25mm 的燃气管道和内径小于 60mm 的电气配管。

（3）矩形截面面积小于 0.38m^2 和圆形直径小于 0.70m 的风管。

（4）吊杆计算长度不超过 300mm 的吊杆悬挂管道。

3. 建筑附属机电设备不应设置在可能导致其使用功能发生障碍等二次灾害的部位；对于有隔振装置的设备，应注意其强烈振动对连接件的影响，并防止设备和建筑结构发生谐振现象。

建筑附属机电设备的支架应具有足够的刚度和强度；其与建筑结构应有可靠的连接和锚固，应使设备在遭遇设防烈度地震影响后能迅速恢复运转。

4. 管道、电缆、通风管和设备的洞口设置，应减少对主要承重结构构件的削弱；洞口边缘应有补强措施。

管道和设备与建筑结构的连接，应能允许二者间有一定的相对变位。

5. 建筑附属机电设备的基座或连接件应能将设备承受的地震作用全部传递到建筑结构上。建筑结构中，用以固定建筑附属机电设备预埋件、锚固件的部位，应采取加强措施，以承受附属机电设备传给主体结构的地震作用。

6. 建筑内的高位水箱应与所在的结构构件可靠连接；且应计及水箱及所含水重对建筑结构产生的地震作用效应。

7. 在设防地震下需要连续工作的附属设备，宜设置在建筑结构地震反应较小的部位；相关部位的结构构件应采取相应的加强措施。

例 15-48　(14-58) 用于框架填充内墙的轻集料混凝土空心砌块和砂浆的强度等级不宜低于：

A　砌块 MU5，砂浆 M5　　B　砌块 MU5，砂浆 M3.5

C　砌块 MU3.5，砂浆 M5　　D　砌块 MU3.5，砂浆 M3.5

提示： 钢筋混凝土结构中的砌体填充墙，砌体的砂浆强度等级不应低于 M5；填充墙实心块体的强度等级不宜低于 MU2.5，空心块体的强度等级不宜低于 MU3.5。

答案： C

规范：《抗震规范》第 13.3.4 条第 2 款；《砌体结构设计规范》第 6.3.3 条第 1 款、第 2 款，第 3.1.2 条第 2 款。

例 15-49　(10-118) 关于非结构构件抗震设计的下列叙述，哪项不正确？

A　框架结构的围护墙应考虑其设置对结构抗震的不利影响，避免不合理设置导致主体结构的破坏

B　框架结构的内隔墙可不考虑其对主体结构的影响，按建筑分隔需要设置

C　建筑附属机电设备及其与主体结构的连接应进行抗震设计

D　幕墙、装饰贴面与主体结构的连接应进行抗震设计

提示： 框架结构的围护墙和隔墙，抗震设计时应考虑对主体结构的不利影响，加强连接构造，避免不合理设置导致主体结构的破坏。非结构构件，包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备，自身及其与结构主体的连接，应进行抗震设计。

幕墙、装饰贴面与主体结构应有可靠连接，避免地震时脱落伤人。

答案： B

规范：《抗震规范》第 3.7.4 条及第 3.7.1、3.7.5 条。

十、地下建筑

（一）一般规定

1. 本条主要适用于地下车库、过街通道、地下变电站和地下空间综合体等单建式地下建筑。不包括地下铁道、城市公路隧道等。

2. 地下建筑宜建造在密实、均匀、稳定的地基上。当处于软弱土、液化土或断层破碎带等不利地段时，应分析其对结构抗震稳定性的影响，采取相应措施。

3. 地下建筑的建筑布置应力求简单、对称、规则、平顺；横剖面的形状和构造不宜沿纵向突变。

4. 地下建筑的结构体系应根据使用要求、场地工程地质条件和施工方法等确定，并应具有良好的整体性，避免抗侧力结构的侧向刚度和承载力突变。

丙类钢筋混凝土地下结构的抗震等级，6、7 度时不应低于四级，8、9 度时不宜低于三级。乙类钢筋混凝土地下结构的抗震等级，6、7 度时不宜低于三级，8、9 度时不宜低于二级。

5. 位于岩石中的地下建筑，其出入口通道两侧的边坡和洞口仰坡，应依据地形、地质条件选用合理的口部结构类型，提高其抗震稳定性。

（二）抗震构造措施和抗液化措施

1. 钢筋混凝土地下建筑的抗震构造，应符合下列要求：

（1）宜采用现浇结构。需要设置部分装配式构件时，应使其与周围构件有可靠的连接。

（2）地下钢筋混凝土框架结构构件的最小尺寸应不低于同类地面结构构件的规定。

（3）中柱的纵向钢筋最小总配筋率，应比框架柱的配筋增加 0.2%。中柱与梁或顶板、中间楼板及底板连接处的箍筋应加密，其范围和构造与地面框架结构的柱相同。

2. 地下建筑的顶板、底板和楼板，应符合下列要求：

（1）宜采用梁板结构。当采用板柱-抗震墙结构时，无柱帽的平板应在柱上板带中设构造暗梁，其构造措施按《抗震规范》第 6.6.4 条的规定采用。

（2）对地下连续墙的复合墙体，顶板、底板及各层楼板的负弯矩钢筋至少应有 50% 锚入地下连续墙，锚入长度按受力计算确定；正弯矩钢筋需锚入内衬，并均不小于规定的锚固长度。

（3）楼板开孔时，孔洞宽度应不大于该层楼板宽度的 30%；洞口的布置宜使结构质量和刚度的分布仍较均匀、对称，避免局部突变。孔洞周围应设置满足构造要求的边梁或暗梁。

3. 地下建筑周围土体和地基存在液化土层时，应采取下列措施：

（1）对液化土层采取注浆加固和换土等消除或减轻液化影响的措施。

（2）进行地下结构液化上浮验算，必要时采取增设抗拔桩、配置压重等相应的抗浮措施。

（3）存在液化土薄夹层，或施工中深度大于 20m 的地下连续墙围护结构遇到液化土层时，可不做地基抗液化处理，但其承载力及抗浮稳定性验算应计入土层液化引起的土压力增加及摩阻力降低等因素的影响。

4. 地下建筑穿越地震时岸坡可能滑动的古河道或可能发生明显不均匀沉陷的软土地

带时，应采取更换软弱土或设置桩基础等措施。

5. 位于岩石中的地下建筑，应采取下列抗震措施：

（1）口部通道和未经注浆加固处理的断层破碎带区段采用复合式支护结构时，内衬结构应采用钢筋混凝土衬砌，不得采用素混凝土衬砌。

（2）采用离壁式衬砌时，内衬结构应在拱墙相交处设置水平撑抵紧围岩。

（3）采用钻爆法施工时，初期支护和围岩地层间应密实回填。干砌块石回填时应注浆加强。

习　题

15-1　以下关于地震震级和地震烈度的叙述，何者是错误的？（　　）

A　一次地震的震级通常用基本烈度表示

B　地震烈度表示一次地震对各个不同地区的地表和各类建筑的影响的强弱程度

C　里氏震级表示一次地震释放能量的大小

D　1976 年唐山大地震为里氏 7.8 级，震中烈度为 11 度

15-2　建筑的抗震设防烈度由以下哪些条件确定？（　　）

Ⅰ　建筑的重要性　　Ⅱ　建筑的高度

Ⅲ　国家颁布的烈度区划图　　Ⅳ　批准的城市抗震设防区划

A　Ⅰ　　B　Ⅱ

C　Ⅲ或Ⅳ　　D　Ⅱ或Ⅳ

15-3　抗震设计时，建筑物应根据其重要性分为甲、乙、丙、丁四类。一幢 18 层的普通高层住宅应属于（　　）。

A　甲类　　B　乙类

C　丙类　　D　丁类

15-4　同为设防烈度为 8 度的现浇钢筋混凝土结构房屋，一栋建造于Ⅱ类场地上，另一栋建造于Ⅳ类场地上，两栋结构的抗震等级（　　）。

A　Ⅱ场地的高　　B　相同

C　Ⅳ场地的高　　D　两种之间的比较不能肯定

15-5　按我国抗震设计规范设计的建筑，当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时，建筑物应（　　）。

A　一般不受损坏或不需修理仍可继续使用

B　可能损坏，经一般修理或不需修理仍可继续使用

C　不致发生危及生命的严重破坏

D　不致倒塌

15-6　下列关于单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计总体布置方面的叙述，何者是不适宜的？（　　）

Ⅰ　多跨厂房采用等高厂房

Ⅱ　厂房采用钢筋混凝土屋架或预应力混凝土屋架

Ⅲ　厂房采用预制腹杆工字形柱

Ⅳ　多跨厂房采用嵌砌式砌体围护墙

A　Ⅰ、Ⅱ　　B　Ⅲ

C　Ⅲ、Ⅳ　　D　Ⅳ

15-7　有抗震设防要求的钢筋混凝土结构施工中，如钢筋的钢号不能符合设计要求时，则（　　）。

A　不允许用强度等级低的钢筋代替

B 不允许用强度等级高的钢筋代替

C 用强度等级高的但钢号不超过 HRB400 级钢的钢筋代替时，钢筋的直径和根数可不变

D 用强度等级高的但钢号不超过 HRB400 级钢的钢号代替时，应进行换算

15-8 对于有抗震设防要求的砖砌体结构房屋，砖砌体的砂浆强度等级应（ ）。

A 不宜低于 M2.5　　　　B 不宜低于 M5

C 不宜低于 M7.5　　　　D 不宜低于 M10

15-9 有抗震要求的砖砌体房屋，构造柱的施工（ ）。

A 应先砌墙后浇混凝土柱

B 条件许可时宜先砌墙后浇柱

C 如混凝土柱留出马牙槎，则可先浇柱后砌墙

D 如混凝土柱留出马牙槎并预留拉结钢筋，则可先浇柱后砌墙

15-10 抗震砌体结构房屋的纵、横墙交接处，施工时，下列哪项措施不正确？（ ）

A 必须同时咬槎砌筑

B 采取拉结措施后可以不同时咬槎砌筑

C 房屋的四个墙角必须同时咬槎砌筑

D 房屋的四个外墙角及楼梯间处必须同时咬槎砌筑

15-11 下列哪一种地段属于对建筑抗震的不利地段？（ ）

A 稳定岩石地基的地段

B 半挖半填的地基土地段

C 中密的砾砂、粗砂地基地段

D 平坦开阔的中硬土地基地段

15-12 在抗震设防地区，建筑物场地的工程地质勘察内容，除提供常规的土层名称、分布、物理力学性质、地下水位等以外，尚提供分层土的剪切波速、场地覆盖层厚度、场地类别。根据上述内容，以下对场地的识别，何者是正确的？（ ）

Ⅰ 分层土的剪切波速（单位为 m/s）越小、说明土层越密实坚硬

Ⅱ 覆盖层越薄，震害效应越大

Ⅲ 场地类别为Ⅰ类，说明土层密实坚硬

Ⅳ 场地类别为Ⅳ类，场地震害效应大

A Ⅰ、Ⅱ　　　　B Ⅰ

C Ⅲ、Ⅳ　　　　D Ⅱ

15-13 以下对抗震设防地区地基土的液化的叙述，何者是正确的？（ ）

Ⅰ 当地基土中存在液化土层，桩基的桩端应置于液化土层上面一定距离处

Ⅱ 当地基土中有饱和砂土或饱和粉土时，需要进行液化判别

Ⅲ 存在液化土层的地基，应根据其液化指数划定其液化等级

Ⅳ 对设防烈度 7 度及 7 度以下，可不考虑液化判别和地基处理

A Ⅰ　　　　B Ⅱ、Ⅲ

C Ⅳ　　　　D Ⅰ、Ⅳ

15-14 抗震规范限制了多层砌体房屋总高度与总宽度的最大比值。这是为了（ ）。

A 避免内部非结构构件的过早破坏

B 满足在地震作用下房屋整体弯曲的强度要求

C 保证房屋在地震作用下的稳定性

D 限制房屋在地震作用下过大的侧向位移

15-15 抗震规范对多层砌体房屋抗震横墙的最大间距作出了规定，例如：对多层砌体房屋，7 度设防

时，按不同楼、屋盖类别分别规定抗震横墙的最大间距为 15m、11m 和 9m。其中 11m 适用于（　　）。

A　现浇钢筋混凝土楼、屋盖房屋

B　装配整体式楼、屋盖房屋

C　装配式楼、屋盖房屋

D　木楼、屋盖房屋

15-16　在划分现浇钢筋混凝土结构的抗震等级时，应考虑：Ⅰ. 设防烈度；Ⅱ. 场地类别；Ⅲ. 结构类别；Ⅳ. 房屋高度；Ⅴ. 建筑物的重要性类别。下列何者是正确的？（　　）

A　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ　　　B　Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ

C　Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ　　　D　Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ

15-17　抗震规范规定了有抗震设防要求的钢筋混凝土结构高层建筑柱子轴压比限值，这是为了（　　）。

A　减少柱子的配筋量

B　增加柱子在地震时的安全度

C　使柱子的破坏形式和变形能力符合抗震要求

D　防止柱子在地震时的纵向屈曲

15-18　在设计一个有抗震设防要求的框架结构中，有的设计人员在绘制施工图时，任意增加计算和构造所需的钢筋面积，认为："这样更安全"。但是下列各条中，哪一条会由于增加了钢筋面积反而可能使结构的抗震能力降低？（　　）

A　增加柱子的纵向钢筋面积　　　B　增加柱子的箍筋面积

C　增加柱子核心区的箍筋面积　　　D　增加梁的箍筋面积

15-19　在设计一个有抗震设防要求的剪力墙结构中，有的设计人员在绘制施工图时，任意增加设计和构造所需的钢筋面积，认为："这样更安全"。但是下列各条中，哪一条会由于增加了钢筋面积反而可能使结构的抗震能力降低？（　　）

A　增加剪力墙的水平钢筋和纵向分布钢筋面积

B　增加剪力墙的水平钢筋面积

C　增加剪力墙连梁的纵向钢筋和箍筋面积

D　增加剪力墙连梁的纵向钢筋面积

15-20　《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010 对各类钢筋混凝土结构房屋有一个适用的最大高度。这个规定是根据：Ⅰ. 结构体系；Ⅱ. 设防烈度；Ⅲ. 房屋的高宽比；Ⅳ. 房屋的长宽比。诸因素中的哪些因素确定的？（　　）

A　Ⅰ、Ⅱ　　　B　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

C　Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ　　　D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

15-21　下列各钢筋混凝土剪力墙结构布置的"原则"中，哪一项是错误的？（　　）

A　剪力墙应双向或多向布置，宜拉通对直

B　较长的剪力墙可开洞后设连梁，连梁应有足够的刚度，不得仅用楼板连接

C　剪力墙的门窗洞口宜上下对齐，成列布置

D　墙肢截面高度与厚度之比不宜过小

15-22　图示高层建筑由防震缝分成Ⅰ、Ⅱ两部分，当Ⅰ、Ⅱ两部分各为下列何种结构时，要求的防震缝宽度最大？（　　）

A　Ⅰ—框架，Ⅱ—框-剪

B　Ⅰ—框-剪，Ⅱ—框-剪

C　Ⅰ—框-剪，Ⅱ—剪力墙

D　Ⅰ—剪力墙，Ⅱ—剪力墙

Ⅰ　Ⅱ

题 15-22 图

15-23 有抗震设防的钢筋混凝土结构构件的箍筋的构造要求，下列何者是正确的？（ ）

Ⅰ 框架梁柱的箍筋为封闭式

Ⅱ 仅配置纵向受压钢筋的框架梁的箍筋为封闭式

Ⅲ 箍筋的末端做成135°弯钩

Ⅳ 箍筋的末端做成直钩（90°弯钩）

A Ⅱ　　B Ⅰ、Ⅲ

C Ⅱ、Ⅳ　　D Ⅳ

15-24 右图所示钢筋混凝土高层建筑的剪力墙，何者对抗震最不利？（ ）

A Ⅳ　　B Ⅲ

C Ⅱ　　D Ⅰ

Ⅰ　Ⅱ　Ⅲ　Ⅳ

题 15-24 图

15-25 用未经焙烧的土坯、灰土和夯土作承重墙体的房屋及土窑洞、土拱房，只能用于（ ）。

A 无抗震设防的地区

B 抗震设防烈度为6度及以下的地区

C 抗震设防烈度为6～7度及以下的地区

D 抗震设防烈度为6～8度及以下的地区

15-26 用未经焙烧的土坯建造的房屋，其最大适宜高度为（ ）。

A 在设防烈度为6～7度时，建两层

B 在设防烈度为6～7度时，建单层

C 在设防烈度为6～8度时，建单层

D 只能在设防烈度为6度及以下时建单层

15-27 有抗震设防要求的房屋，各种变形缝之间应满足：Ⅰ.伸缩缝应符合沉降缝的要求；Ⅱ.伸缩缝应符合防震缝的要求；Ⅲ.沉降缝应符合防震缝的要求；Ⅳ.防震缝应符合沉降缝的要求，下列何者是正确的？（ ）

A Ⅰ、Ⅱ　　B Ⅱ、Ⅲ

C Ⅲ、Ⅳ　　D Ⅰ、Ⅳ

15-28 《建筑抗震设计规范》规定：同一结构单元不宜部分采用天然地基部分采用桩基。试问，如不可避免则宜（ ）。

A 设防震缝　　B 设伸缩缝

C 设沉降缝　　D 设箱形基础

15-29 在一栋有抗震设防要求的建筑中，如需设防震缝则（ ）。

A 防震缝应将其两侧房屋的上部结构完全分开

B 防震缝应将其两侧房屋的上部结构连同基础完全分开

C 只有在设地下室的情况下，防震缝才可以将其两侧房屋的上部结构分开

D 只有在不设地下室的情况下，防震缝才可只将其两侧房屋的上部结构分开

15-30 对有抗震设防要求的影剧院建筑，大厅与两侧附属房间之间（ ）。

A 应设防震缝

B 可不设防震缝

C 当为砌体结构时，应设防震缝

D 当为钢筋混凝土结构时，可不设防震缝

15-31 对于砌体结构，现浇钢筋混凝土楼、屋盖房屋，设置顶层圈梁，主要是在下列哪一种情况发生时起作用？（ ）

A　发生地震时

B　发生温度变化时

C　在房屋中部发生比两端大的沉降时

D　在房屋两端发生比中部大的沉降时

15-32　按照我国现行抗震设计规范的规定，位于下列何种基本烈度幅度内地区的建筑物应考虑抗震设防？(　　)

A　基本烈度为 5～9 度

B　基本烈度为 6～9 度

C　基本烈度为 5～10 度

D　基本烈度为 6～10 度

15-33　在地震区建造房屋，下列结构体系中何者能建造的高度最高？(　　)

A　框架　　B　筒中筒

C　框架-核心筒　　D　剪力墙

参 考 答 案

15-1　A　［提示］　根据地震的基本概念，可以判断，A 是错误的。

15-2　C　［提示］　根据抗震设防烈度的概念，C 是正确的。

注：在设计中，建筑物的重要性也可以作为确定抗震设防烈度的因素，对某些特殊重要的建筑物，设防烈度可以适当提高。

15-3　C　［提示］　根据《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223—2008 第 6.0.12 条，一幢 18 层的普通高层住宅属于丙类建筑。

15-4　B　［提示］　在《抗震规范》第 6.1.2 条中，现浇钢筋混凝土房屋的抗震等级是根据抗震设防烈度、结构类型房屋高度来确定的，与建筑场地类别无关。

15-5　A　［提示］　根据《抗震规范》第 1.0.1 条，当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时，一般不受损坏或不需修理仍可继续使用。

15-6　B　［提示］　单层钢筋混凝土厂房抗震设计采用多跨等高厂房，屋盖采用普通钢筋混凝土屋架或预应力混凝土屋架，预制柱一般为工字形柱、没有预制腹杆工字形柱。

15-7　D　［提示］　在钢筋混凝土结构施工中，常因市场供应关系，使某些钢筋钢号备料发生困难，须用与原设计钢号不同的钢筋代换，这时为了保证安全，不允许用强度等级低的钢筋代替，当用强度等级高的钢号代替时，应进行换算。

15-8　B　［提示］　抗震结构在材料选用、施工质量、材料代用上都有特殊的要求。《抗震规范》第 3.9.2 条要求，对有抗震设防要求的砖砌体结构房屋，砖强度不宜低于 MU10，砂浆强度等级不宜低于 M5。

15-9　A　［提示］　在多层砖砌体房屋中设置钢筋混凝土构造柱，是提高砖砌体房屋抗震能力的有效措施，使砌体房屋在遭遇到相当于设计烈度的地震影响时，不致严重损坏或突然坍塌，从而使房屋不经修理或经一般修理后仍可继续使用。为了加强构造柱与砖砌体的共同作用，在采用构造柱的同时，一般还在砖砌体内预留马牙槎，并在砖墙的一定高度范围内（如每隔 8 行砖）留拉结钢筋。构造柱应分层按下列顺序进行施工：绑扎钢筋、砌砖墙、支模、浇灌混凝土。施工时切忌先浇柱混凝土后砌砖墙，必须先砌墙后浇混凝土。

15-10　B　［提示］　砌体房屋结构，为了加强纵、横墙的连接作用，必须在所有纵、横墙交接处同时咬槎砌筑。在房屋的四个外角、楼梯间处更应如此。另外，采取拉结措施（如在砖缝内配筋）后也应同时咬槎砌筑。

15-11　B　［提示］　根据《抗震规范》第 4.1.1 条表 4.1.1，题中给出的 A、C、D 项均属对建筑

抗震的有利地段。B项属于不利地段。

15-12 C ［提示］ 根据《抗震规范》表4.1.3土层剪切波速（m/s）越小，场地土越软弱；根据表4.1.6，覆盖层越薄，场地土越坚硬，因而震害效应越小；根据表4.1.6，当场地类别为Ⅰ类时，说明土层密实、坚硬，当场地土为Ⅳ类时，属软弱场地土，震害效应大。因此，题中Ⅰ、Ⅱ项为错误Ⅲ、Ⅳ项为正确。

15-13 B ［提示］ 根据《抗震规范》第4.3.7条1款，当地基土中存在液化土层时，桩基的桩端应深入液化深度以下稳定土层中一定的长度（不包括桩尖部分），伸入长度应按计算确定，并且，对碎石土、砾、粗、中砂、坚硬黏性土和密实粉土尚不应小于0.8m，对其他非岩石土尚不宜小于1.5m。因此，题中Ⅰ项是错误的。根据规范第4.3.2条，对饱和砂土或粉土，应进行液化判别，根据规范第4.3.5条，对存在液化砂土层、粉土层的地基，应根据液化指数按表4.3.5划分液化等级；可知Ⅱ、Ⅲ项正确。根据规范第4.3.1条，一般在6度及以下地区，很少看到液化现象，而在7度及以上地区，液化现象相当普遍；可知Ⅳ项错误。

15-14 C ［提示］ 根据《抗震规范》条文说明7.1.4条，限制多层砌体房屋总高度与总宽度的最大比值，是为了满足在地震作用下房屋的稳定性。

15-15 C ［提示］ 此题关键词是："多层砌体房屋"、"7度设防"、"11m"。根据《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010第7.1.5条表7.1.5，对采用装配式钢筋混凝土楼、屋盖的黏土砖房屋，7度设防时，抗震横墙最大间距不应超过11m。

15-16 B ［提示］ 根据《抗震规范》第6.1.2条，现浇钢筋混凝土房屋，应根据设防烈度、结构类型和房屋高度采用不同的抗震等级。

15-17 C ［提示］ 《抗震规范》对钢筋混凝土结构高层建筑柱子的轴压比限值作了规定，是为了保证框架柱的必要延性，使柱子的破坏形式和变形能力符合抗震要求。

15-18 A ［提示］ 在设计有抗震设防要求的框架结构中，如果任意增加柱子的纵向钢筋面积，可能反而使结构的抗震能力降低。

15-19 D ［提示］ 在设计有抗震设防要求的剪力墙结构中，如果任意增加剪力墙连梁的纵向钢筋面积，可能使连梁不能先形成塑性铰，反而使结构的抗震能力降低。

15-20 A ［提示］ 根据《高层混凝土规程》第3.3.1条表3.3.1-1、表3.3.1-2，各类钢筋混凝土结构房屋适用的最大高度与结构体系，设防烈度有关。

15-21 B ［提示］ 根据《高层混凝土规程》第7.1.2条，在钢筋混凝土剪力墙结构布置中，当剪力墙过长（如超过8m）时，可以开构造洞将剪力墙分成长度合适的均匀的墙肢，用连梁拉接，但连梁刚度不一定要求很大，可用楼板连接，也可做成高度较小的弱梁。

15-22 A ［提示］ 根据《高层混凝土规程》第3.4.10条，框架结构防震缝最小宽度值为最大，框架-剪力墙结构次之，剪力墙最小。且防震缝的宽度按相邻结构单元中较低单元的屋面高度确定。

15-23 B ［提示］ 有抗震设防的钢筋混凝土结构构件的箍筋构造，对框架梁柱应做成封闭式，箍筋的末端应做成135°弯钩。

15-24 C ［提示］ 根据《高层混凝土规程》第7.1.1条一、二、三级的剪力墙均不宜采用叠合错洞墙。题示图Ⅰ为一般叠合错洞墙、图Ⅱ为叠合错洞墙，图Ⅲ可称为规则开洞墙，图Ⅳ为底层局部错洞墙，在题示给出的4种开洞形式的剪力墙中，对抗震最有利的是Ⅲ，其次是Ⅳ，再次是Ⅰ，Ⅱ为最不利。

15-25 C ［提示］ 根据《抗震规范》第11.2.1条用未经焙烧的土坯、灰土和夯土作承重墙体的房屋及土窑洞、土拱房，只能适用于抗震设防为6～7度及以下的地区。

15-26 B ［提示］ 根据《抗震规范》第11.2.2条，用未经焙烧的土坯（生土）建造的房屋，只宜建单层。

15-27 B ［提示］ 在有抗震设防要求的房屋，伸缩缝、沉降缝、防震缝3种变形缝中的作用是：

伸缩缝是为了温度变化而设置，沉降缝是为了相邻结构单元不均匀沉降而设置，防震缝是为了地震时两相邻结构单元不致发生碰撞而设置。温度伸缩缝一般只在结构上部设置，沉降缝应从房屋顶部至基础分开，防震缝一般可以在±0.000 以上设置，但当地基不好，房屋沉降可能较大时，应贯通至基底。上述三种变形缝，伸缩缝一般不能兼作沉降缝和防震缝；沉降缝、防震缝可以兼作伸缩缝；沉降缝可以兼作防震缝；防震缝如只从±0.000 以上设置则不能兼作沉降缝，如贯通至基底则可兼作沉降缝；房屋变形缝如果从建筑物顶部贯通至基底，则可兼作伸缩缝、防震缝和沉降缝。变形缝如果合三为一，则尚需考虑地震时两相邻结构单元互相碰撞以及基础转动对缝宽度的要求。根据题意，B 项是正确的。

15-28 C ［提示］ 在同结构单元，不宜部分采用天然地基部分采用桩基，如不可避免，则宜设置沉降缝分成两个结构单元以解决不均匀沉降引起的问题，此缝尚应满足防震缝的要求。

15-29 A ［提示］ 参考第 15-27 题的解释，本题中 A 项是正确的。

15-30 B ［提示］ 对有防震设防要求的影剧院建筑，在大厅与两侧附属房之间，不宜设防震缝。

15-31 D

15-32 B ［提示］ 根据我国现行抗震设计规范的规定，对基本烈度为 6～9 度地区的建筑物，应考虑抗震设防。

15-33 B ［提示］ 根据《高层混凝土规程》第 3.3.1 条表3.3.1框架的适用最大高度最小，现浇剪力墙次之，框架-核心筒较高，筒中筒最高。

第十六章　地 基 与 基 础

第一节　概　　述

地基基础在建筑工程中的重要性：

（一）大家知道，房屋无论大小、高低，都要建造在土层上面。房屋有楼盖（屋顶）、墙身、柱子和基础。房屋的基础埋在地面以下一定深度的土层上，实际上它是房屋墙身或柱子的延伸部分。房屋基础承担房屋屋顶、楼面、墙或柱传来的重力荷载，以及风、雪荷载和地震作用，并起承上启下的作用。

（二）地基土受力后，会发生压缩变形，为了控制房屋的下沉和保证它的稳定，以达到房屋的正常使用，通常要将房屋基础的尺寸适当放大。也就是说，要比墙和柱子本身的截面尺寸大一些，以适应地基的承载能力。

（三）基础是房屋不可缺少的重要组成部分。没有一个牢靠的基础，就不能有一个完好的上部建筑。因此，为了保证房屋的安全和必要的使用年限，基础应当具备足够的强度和稳定性。地基虽不是房屋的组成部分，但它的好坏却直接影响整个房屋的安全和使用。如对地基下沉和不均匀下沉没有妥善处理，房屋建成后，会使楼板和墙体产生裂缝，并可能使房屋倾斜。以往就发生过因对地基承载力估计不足造成的房屋倒塌事故。

（四）从造价和工期来看，基础工程在建筑工程中占有很大的比重，就一般工程而言，基础造价约占建筑物总造价的10%～20%，施工工期约占25%～35%。由此可见，地基处理和基础设计，对房屋是否安全耐久和经济，具有十分重要的意义。

第二节　地基土的基本知识

一、有关名词术语

1. 地基（ground）。支承基础的土体或岩体。

2. 基础（foundation）。将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分。

3. 地基承载力特征值。由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值，其最大值为比例界限值。

4. 重力密度（重度）。单位体积岩土体所承受的重力，为岩土体的密度和重力加速度的乘积。

5. 岩体结构面。岩体内开裂的和易开裂的面，如层面、节理、断层、片理等，又称不连续构造面。

6. 标准冻结深度。在地面平坦、裸露、城市之外的空旷场地中不少于10年的实测最大冻结深度的平均值。

7. 地基变形允许值。为保证建筑物正常使用而确定的变形控制值。

8. 土岩组合地基。在建筑地基的主要受力层范围内，有下卧基岩表面坡度较大的地基；或石芽密布并有出露的地基；或大块孤石或个别石芽出露的地基。

9. 地基处理。为提高地基承载力，或改善其变形性质或渗透性质而采取的工程措施。

10. 复合地基。部分土体被增强或被置换，而形成的由地基土和增强体共同承担荷载的人工地基。

11. 扩展基础。为扩散上部结构传来的荷载，使作用在基底的压应力满足地基承载力的设计要求，且基础内部的应力满足材料强度的设计要求，通过向侧边扩展一定底面积的基础。

12. 无筋扩展基础。由砖、毛石、混凝土或毛石混凝土、灰土和三合土等材料组成的，且不需配置钢筋的墙下条形基础或柱下独立基础。

13. 桩基础。由设置于岩土中的桩和连接于桩顶端的承台组成的基础。

14. 支挡结构。使岩土边坡保持稳定、控制位移、主要承受侧向荷载而建造的结构物。

15. 基坑工程。为保证地面向下开挖形成的地下空间在地下结构施工期间的安全稳定所需的挡土结构及地下水控制、环境保护等措施的总称。

二、地基土的主要物理力学指标

1. 土是由岩石经物理、化学和生物风化作用形成的。岩石暴露在大气中，经受风、霜、雨、雪的侵蚀，动植物的破坏，地壳运动的压、挤，气温的变化，裂缝中积水成冰的膨胀作用等，逐渐由大块体崩解为较小的碎屑和颗粒。这些碎屑和颗粒，又受到大气中如碳酸气（CO_2）、氧气（O_2）或动植物的腐蚀等作用，使这些碎屑和颗粒分解为非常细小的颗粒状物质，这就是土的简单形成过程。

2. 土的性质

土不是坚固密实的整体，土颗粒之间有很多孔隙，在这些孔隙中有空气也有水。一般情况下，土是由三部分组成，即固体的颗粒、水和空气。这三部分之间的比例不是固定不变的，当气温升高时，土内一部分水蒸发，而使土内空气增加。土中颗粒、水和空气相互间的比例不同，反映出土处于各种不同的状态：干燥或潮湿，疏松或紧密，这对于评定土的物理和力学性质有着很重要的意义。

为研究土的物理力学性质，取一个单元土体表示土的三个组成成分，如图 16-1 所示，确定土的三个组成部分之间的相互比例关系：

（1）直接由试验测得的指标

1）土的重力密度 γ

土在天然状态下单位体积的重力称为土的重力密度，简称土的重度。

$$\gamma = g/V \tag{16-1}$$

土的重度随着土的颗粒组成，孔隙多少和水分含量的不同而变化，一般土的天然重度约为 16～22kN/m^3。

【要点】重度较小，则表示土质孔隙较多，土不紧密，因而承载力相对较低；反之，则承载力就高。

2）土粒相对密度 d_s

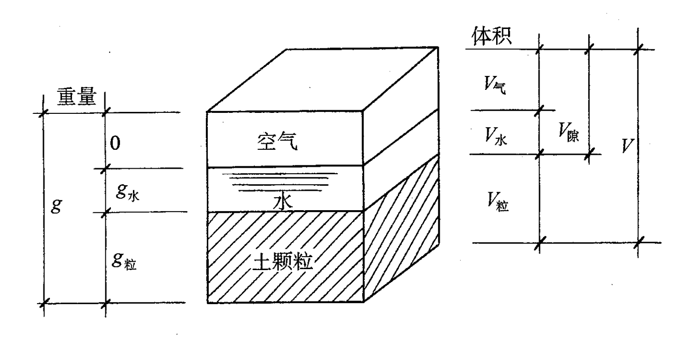


图 16-1　土的组成示意图

g—单元土的总重力；$g_粒$—单元土中颗粒的重力；$g_水$—单元土中水的重力；V—单元土的总体积；$V_气$—单元土中空气的体积；$V_粒$—单元土中颗粒的体积；$V_隙$—单元土中孔隙的体积；$V_水$—单元土中水所占的体积

干土颗粒的重度与同体积 4℃水的重力密度（γ_w）之比，称为土的相对密度，无量纲。

$$d_s = (g_粒 / V_粒) \cdot \gamma_w \tag{16-2}$$

【要点】一般土粒相对密度约为 2.65～2.70。

3）含水量 w

土中水的重量与颗粒重量的百分比。

$$w = (g_水 / g_粒) \times 100\% \tag{16-3}$$

【要点】土的含水量反映土的干湿程度。含水量越大，说明土越软；如果是黏性土，土越软，其工程性质就越差。

（2）换算指标

上面三个物理指标是直接用实验方法测定的，如果已知这三个指标，就可以用公式计算出以下几个物理指标。

1）干重度 γ_d

单位体积内颗粒的重力，称为土的干重度。

$$\gamma_d = g_粒 / V \tag{16-4}$$

【要点】干重度能够较好地反映土的密实程度；干重度越大，土越密实，强度就越高；常用作填土和人工压实土的施工控制指标。

2）孔隙比 e

土中孔隙体积与颗粒体积之比称为孔隙比。

$$e = V_隙 / V_粒 \tag{16-5}$$

【要点】土的孔隙比，反映土的密实程度。孔隙比越大，土越松散；孔隙比越小，土越密实；是土体的重要物理性质指标，可用来评价土体的压缩特性。

3）饱和度 S_r

土中水的体积与孔隙体积之比，以百分数计。

$$S_r = (V_水 / V_隙) \times 100\% \tag{16-6}$$

【要点】饱和度反映地基土的潮湿程度。在基础工程设计中，根据地基土的潮湿程度选用基础材料和砂浆等级。

第三节　地基与基础设计

一、地基基础设计等级

根据地基复杂程度、建筑物规模和功能特征以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度，将地基基础设计分为三个设计等级；设计时应根据具体情况，按表16-1选用。

地基基础设计等级　　　　**表 16-1**

设计等级	建筑和地基类型
甲级	重要的工业与民用建筑物 30层以上的高层建筑 体型复杂，层数相差超过10层的高低层连成一体建筑物 大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等） 对地基变形有特殊要求的建筑物 复杂地质条件下的坡上建筑物（包括高边坡） 对原有工程影响较大的新建建筑物 场地和地基条件复杂的一般建筑物 位于复杂地质条件及软土地区的二层及二层以上地下室的基坑工程 开挖深度大于15m的基坑工程 周边环境条件复杂、环境保护要求高的基坑工程
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物 除甲级、丙级以外的基坑工程
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的七层及七层以下民用建筑及一般工业建筑；次要的轻型建筑物 非软土地区且场地地质条件简单、基坑周边环境条件简单、环境保护要求不高且开挖深度小于5.0m的基坑工程

【要点】熟悉设计等级为甲级的建筑和地基类型。

二、地基基础的设计要求

根据建筑物地基基础设计等级及长期荷载作用下地基变形对上部结构的影响程度，地基基础设计应符合下列规定：

1. 所有建筑物的地基计算均应满足承载力计算的有关规定。

2. 设计等级为甲级、乙级的建筑物，均应按地基变形设计。

3. 设计等级为丙级的建筑物有下列情况之一时应作变形验算：

（1）地基承载力特征值小于130kPa，且体型复杂的建筑；

（2）在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大，可能引起地基产生过大的不均匀沉降时；

（3）软弱地基上的建筑物存在偏心荷载时；

（4）相邻建筑距离近，可能发生倾斜时；

（5）地基内有厚度较大或厚薄不均的填土，其自重固结未完成时。

4. 对经常受水平荷载作用的高层建筑、高耸结构和挡土墙等，以及建造在斜坡上或

边坡附近的建筑物和构筑物，尚应验算其稳定性。

5. 基坑工程应进行稳定性验算。

6. 建筑地下室或地下构筑物存在上浮问题时，尚应进行抗浮验算。

第四节　地基岩土的分类及工程特性指标

一、岩土的分类

作为建筑地基的岩土，可分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土。

1. 岩石的分类

作为建筑物地基岩石，除应确定岩石的地质名称外，尚应划分其坚硬程度和完整程度。

（1）岩石的坚硬程度

应根据岩块的饱和单轴抗压强度 f_{rk} 按表 16-2 分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩。岩石的风化程度可分为未风化、微风化、中风化、强风化和全风化。

岩石坚硬程度的划分　　　　**表 16-2**

坚硬程度类别	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度标准值 f_{rk}（MPa）	$f_{rk}>60$	$60\geqslant f_{rk}>30$	$30\geqslant f_{rk}>15$	$15\geqslant f_{rk}>5$	$f_{rk}\leqslant 5$

（2）岩体完整程度按表 16-3 划分为完整、较完整、较破碎、破碎和极破碎。

岩体完整程度划分　　　　**表 16-3**

完整程度等级	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
完整性指数	>0.75	0.75～0.55	0.55～0.35	0.35～0.15	<0.15

注：完整性指数为岩体纵波波速与岩块纵波波速之比的平方。选定岩体、岩块测定波速时应有代表性。

2. 碎石土的分类和密实度

碎石土为粒径大于 2mm 的颗粒含量超过全重 50%的土。

（1）碎石土的分类

碎石土可按表 16-4 分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾。

碎石土的分类　　　　**表 16-4**

土的名称	颗粒形状	粒组含量
漂石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 200mm 的颗粒含量超过全重 50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 20mm 的颗粒含量超过全重 50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于 2mm 的颗粒含量超过全重 50%
角砾	棱角形为主	

注：分类时应根据粒组含量栏从上到下以最先符合者确定。

（2）碎石土的密实度

碎石土难以取样试验，规范采用以重型动力触探锤击数为主划分其密实度，可按表 16-5 分为松散、稍密、中密、密实。

碎石土的密实度 **表 16-5**

重型圆锥动力触探锤击数 $N_{63.5}$	密实度	重型圆锥动力触探锤击数 $N_{63.5}$	密实度
$N_{63.5} \leqslant 5$	松散	$10 < N_{63.5} \leqslant 20$	中密
$5 < N_{63.5} \leqslant 10$	稍密	$N_{63.5} > 20$	密实

注：1. 本表适用于平均粒径小于或等于 50mm 且最大粒径不超过 100mm 的卵石、碎石、圆砾、角砾；对于平均粒径大于 50mm 或最大粒径大于 100mm 的碎石土，可按本规范附录 B 鉴别其密实度；
2. 表内 $N_{63.5}$ 为经综合修正后的平均值。

3. 砂土的分类和密实度

砂土为粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全重 50%、粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50%的土。

（1）砂土的分类，可按表 16-6 分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。

砂土的分类 **表 16-6**

土的名称	粒组含量	土的名称	粒组含量
砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒含量占全重 25%～50%	细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过全重 85%
粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒含量超过全重 50%		
中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒含量超过全重 50%	粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过全重 50%

注：分类时应根据粒组含量栏从上到下以最先符合者确定。

（2）砂土的密实度，可按表 16-7 分为松散、稍密、中密、密实。

砂土的密实度 **表 16-7**

标准贯入试验锤击数 N	密实度	标准贯入试验锤击数 N	密实度
$N \leqslant 10$	松散	$15 < N \leqslant 30$	中密
$10 < N \leqslant 15$	稍密	$N > 30$	密实

注：当用静力触探探头阻力判定砂土的密实度时，可根据当地经验确定。

4. 黏性土

（1）黏性土的塑限、液限、塑性指数、液性指数（图 16-2）

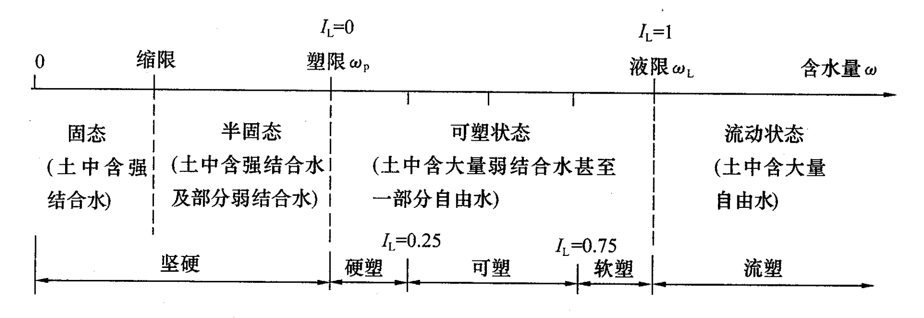


图 16-2 黏性土物理状态与含水量的关系

（引自：袁树基，袁静．建筑结构快速通．北京：中国建筑工业出版社，2014）

塑限是指土由可塑状态变化到半固体状态时的界限含水量，以 ω_p表示。

液限是指土由可塑状态转变到流动状态时的界限含水量，以 ω_L表示。

塑性指数：$I_p=\omega_L-\omega_p$，液限与塑限之差称为塑性指数，反映可塑状态下的含水量范围，用于黏性土分类。

液性指数：$I_L=(\omega-\omega_p)/I_p$，表示天然含水量与界限含水量相对关系，是判别黏性土状态（软硬程度或稀稠程度）的一个指标。

（2）黏性土的分类

黏性土为塑性指数 I_p大于 10 的土，可按塑性指数分为黏土、粉质黏土（表 16-8）。

黏性土的分类 **表 16-8**

塑性指数 I_p	土的名称
$I_p>17$	黏土
$10<I_p\leqslant17$	粉质黏土

注：塑性指数由相应于 76g 圆锥体沉入土样中深度为 10mm 时测定的液限计算而得。

（3）黏性土的状态

可按液性指数 I_L，分为坚硬、硬塑、可塑、软塑、流塑（表 16-9）。

黏性土的状态 **表 16-9**

液性指数 I_L	状态	液性指数 I_L	状态
$I_L\leqslant0$	坚硬	$0.75<I_L\leqslant1$	软塑
$0<I_L\leqslant0.25$	硬塑	$I_L>1$	流塑
$0.25<I_L\leqslant0.75$	可塑		

注：当用静力触探探头阻力判定黏性土的状态时，可根据当地经验确定。

【要点】

◆ 土中的含水量是随周围条件的变化而变化的。对于同一种土，由于含水量的不同，可以分别处于固体状态、塑性状态或流动状态，不同状态的界限含水量分别为塑限和液限。

◆ 塑性指数能判别黏性土的分类属性，液性指数能判定黏性土的坚硬状态。

◆ 在一般情况下，处于硬塑或坚硬状态的土具有较高的承载力；处于软塑或流塑状态的土具有较低的承载力，建造在这种土上的房屋，其沉降往往很大，且长期不易稳定。

5. 粉土

为介于砂土与黏性土之间，塑性指数 I_p小于或等于 10 且粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过全重 50%的土。

6. 淤泥为在静水或缓慢的流水环境中沉积，并经生物化学作用形成，其天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于 1.5 的黏性土。当天然含水量大于液限而天然孔隙比小于 1.5 但大于或等于 1.0 的黏性土或粉土为淤泥质土。

7. 红黏土为碳酸盐岩系的岩石经红土化作用形成的高塑性黏土。其液限一般大于 50%。红黏土经再搬运后仍保留其基本特征，其液限大于 45%的土为次生红黏土。

8. 人工填土根据其组成和成因，可分为素填土、压实填土、杂填土、冲填土。

素填土为由碎石土、砂土、粉土、黏性土等组成的填土。经过压实或夯实的素填土为

压实填土。杂填土为含有建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物的填土。冲填土为由水力冲填泥沙形成的填土。

9. 膨胀土为土中黏粒成分主要由亲水性矿物组成，同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩特性，其自由膨胀率大于或等于40%的黏性土。

10. 湿陷性土为在一定压力下浸水后产生附加沉降，其湿陷系数大于或等于0.015的土。

例16-1 （10-121）下列关于地基土的表述中，错误的是：

A 碎石土为粒径大于2mm的颗粒含量超过全重50%的土

B 砂土为粒径大于2mm的颗粒含量不超过全重50%，粒径大于0.075mm的颗粒含量超过全重50%的土

C 黏性土为塑性指数 I_p 小于10的土

D 淤泥是天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于1.5的黏性土

提示：黏性土为塑性指数 I_p 大于10的土。

答案：C

规范：《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011（以下简称《地基基础规范》）第4.1.5条表4.1.5、第4.1.7条表4.1.7及第4.1.9条表4.1.9、第4.1.12条。

例16-2 （11-104）黏性土的状态，可分为坚硬、硬塑、可塑、软塑、流塑，这是根据下列哪个指标确定的？

A 液性指数　　B 塑性指数

C 天然含水量　　D 天然孔隙比

答案：A

规范：《地基基础规范》第4.1.10条。

二、工程特性指标

1. 土的工程特性指标可采用以下特性指标表示：

①强度指标；②压缩性指标；③静力触探探头阻力；④动力触探锤击数；⑤标准贯入试验锤击数；⑥载荷试验承载力。

2. 地基土工程特性指标的代表值应分别为：

（1）标准值，抗剪强度指标应取标准值；

（2）平均值，压缩性指标应取平均值；

（3）特征值，载荷试验承载力应取特征值。

3. 载荷试验应采用：

（1）浅层平板载荷试验，适用于浅层地基；

（2）深层平板载荷试验，适用于深层地基。

4. 土的抗剪强度指标可采用以下试验方法测定：

①原状土室内剪切试验；②无侧限抗压强度试验；③现场剪切试验；④十字板剪切试验。

5. 土的压缩性指标可采用以下试验确定：

①原状土室内压缩试验；②原位浅层；③深层平板载荷试验；④旁压试验。

6. 地基土的压缩性可按以下方法划分：

按 p_1为 100kPa，p_2为 200kPa 时相对应的压缩系数值 a_{1-2}，划分为低、中、高压缩性，并符合以下规定：

（1）当 $a_{1-2}<0.1\text{MPa}^{-1}$时，为低压缩性土；

（2）当 $0.1\text{MPa}^{-1}\leqslant a_{1-2}<0.5\text{MPa}^{-1}$时，为中压缩性土；

（3）当 $a_{1-2}\geqslant 0.5\text{MPa}^{-1}$时，为高压缩性土。

【要点】

◆地基的强度是指土体的抗剪强度。地基虽然是受压，但其强度破坏形态却都是剪切滑移破坏。地基的变形是指土体受到压缩引起的沉降。土体被挤出的剪切滑移破坏亦称地基失稳。

◆一般情况下，粗颗粒岩土的地基承载力大于细颗粒岩土的地基承载力；粗颗粒的岩土压缩性小，细颗粒的岩土压缩性大。

例 16-3 （09-120） 在地基土的工程特性指标中，地基土的载荷试验承载力应取：

A 标准值　　B 平均值　　C 设计值　　D 特征值

提示： 地基工程特性指标的代表值分别是：抗剪强度指标取标准值，压缩性指标取平均值，载荷试验承载力应取特征值。

答案： D

规范：《地基基础规范》第 4.2.2 条。

例 16-4 （08-124） 土的强度实质上是下列哪一种强度？

A 土的黏聚力强度　　B 土的抗剪强度

C 土的抗压强度　　D 土的抗拉强度

答案： B

第五节　地　基　计　算

一、基础埋置深度

1. 基础的埋置深度，应按下列条件确定：

（1）建筑物的用途，有无地下室、设备基础和地下设施，基础的形式和构造；

（2）作用在地基上的荷载大小和性质；

（3）工程地质和水文地质条件；

（4）相邻建筑物的基础埋深；

（5）地基土冻胀和融陷的影响。

2. 在满足地基稳定和变形要求的前提下，当上层地基的承载力大于下层土时，宜利用上层土作持力层。除岩石地基外，基础埋深不宜小于 0.5m。

3. 高层建筑基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求。位于岩石地基上的高层建筑，其基础埋深应满足抗滑稳定性要求。

4. 在抗震设防区，除岩石地基外，天然地基上的箱形和筏形基础其埋置深度不宜小

于建筑物高度的1/15；桩箱或桩筏基础的埋置深度（不计桩长）不宜小于建筑物高度的1/18。位于岩石地基上的高层建筑筏形和箱形基础，其基础埋深应满足抗滑移的要求。

5. 基础宜埋置在地下水位以上，当必须埋在地下水位以下时，应采取地基土在施工时不受扰动的措施。当基础埋置在易风化的岩层上，施工时应在基坑开挖后立即铺筑垫层。

6. 当存在相邻建筑物时，新建建筑物的基础埋深不宜大于原有建筑基础。当埋深大于原有建筑基础时，两基础间应保持一定净距，其数值应根据原有建筑荷载大小、基础形式和土质情况确定。

7. 季节性冻土地基的场地冻结深度 z_d 应按规范要求计算。

8. 季节性冻土地区基础埋置深度宜大于场地冻结深度。对于深厚季节冻土地区，当建筑基础底面土层为不冻胀、弱冻胀、冻胀土时，基础埋置深度可以小于场地冻结深度。基础底面下允许冻土层最大厚度应根据当地经验确定。没有地区经验时可按《地基基础规范》附录G查取。此时，基础最小埋置深度 d_{min} 可按下式计算：

$$d_{min} = z_d - h_{max} \tag{16-7}$$

式中　h_{max}——基础底面下允许冻土层最大厚度（m）。

9. 地基土的冻胀类别分为不冻胀、弱冻胀、冻胀、强冻胀和特强冻胀。在冻胀、强冻胀、特强冻胀地基上采用防冻害措施时应符合下列规定：

（1）对在地下水位以上的基础，基础侧表面应回填不冻胀的中、粗砂，其厚度不应小于200mm；对在地下水位以下的基础，可采用桩基础、保温性基础、自锚式基础（冻土层下有扩大板或扩底短桩），也可将独立基础和条形基础做成正梯形的斜面基础。

（2）宜选择地势高、地下水位低、地表排水条件好的建筑场地。对低洼场地，建筑物的室外地坪标高应至少高出自然地面300～500mm，其范围不宜小于建筑四周向外各一倍冻结深度距离的范围。

（3）应做好排水设施，施工和使用期间防止水浸入建筑地基。在山区应设截水沟或在建筑物下设置暗沟，以排走地表水和潜水。

（4）在强冻胀性和特强冻胀性地基上，其基础结构应设置钢筋混凝土圈梁和基础梁，并控制建筑的长高比，增强房屋的整体刚度。

（5）当独立基础连系梁下或桩基础承台下有冻土时，应在梁或承台下留有相当于该土层冻胀量的空隙，以防止因土的冻胀将梁或承台拱裂。

（6）外门斗、室外台阶和散水坡等部位宜与主体结构断开，散水坡分段不宜超过1.5m，坡度不宜小于3%，其下宜填入非冻胀性材料。

（7）对跨年度施工的建筑，入冬前应对地基采取相应的防护措施；按采暖设计的建筑物，当冬季不能正常采暖时，也应对地基采取保温措施。

【要点】在影响高层建筑地基稳定的多个因素中，除建筑物高度、体型、基底压力、偏心距、地基土性质、抗震设防烈度等因素外，基础埋置深度是一个重要的因素。

例16-5　(09-121) 在一般土层中，确定高层建筑深度筏形和箱形基础的埋置深度时可不考虑：

A　地基承载力　　　　B　地基变形

C　地基稳定性　　　　D　建筑场地类别

提示：高层建筑基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求。位于岩石地基上的高层建筑，其基础埋深应满足抗滑稳定性要求。而建筑场地类别是抗震设计时需要考虑的一个指标，确定基础埋深时可不考虑。

答案：D

规范：《地基基础规范》第5.1.3条。

二、地基设计的基本原则

地基计算包括基础埋置深度、承载力、变形、稳定性计算等，是地基设计的重要依据。

地基设计的目的：确保房屋的稳定；不因地基产生过大不均匀变形而影响房屋的安全和正常使用。进行地基设计时，需遵守下列三个原则：

（1）上部结构荷载所产生的压力不大于地基的承载力值；

（2）房屋和构筑物的地基变形值不大于其允许值；

（3）对经常受水平荷载作用的构筑物（如挡土墙）等，不致使其丧失稳定而破坏。

三、地基承载力计算

1. 基础底面的压力，应符合下列规定：

（1）当轴心荷载作用时

$$p_k \leqslant f_a \tag{16-8}$$

式中 p_k——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力值（kPa）；

f_a——修正后的地基承载力特征值（kPa）。

（2）当偏心荷载作用时，除符合式（16-8）要求外，尚应符合下式规定：

$$p_{kmax} \leqslant 1.2 f_a \tag{16-9}$$

式中 p_{kmax}——相应于作用的标准组合时，基础底面边缘的最大压力值（kPa）。

2. 基础底面的压力，可按下列公式确定：

（1）当轴心荷载作用时

$$p_k = \frac{F_k + G_k}{A} \tag{16-10}$$

式中 F_k——相应于作用的标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力值（kN）；

G_k——基础自重和基础上的土重（kN）；

A——基础底面面积（m^2）。

（2）当偏心荷载作用时

$$p_{kmax} = \frac{F_k + G_k}{A} + \frac{M_k}{W} \tag{16-11}$$

$$p_{kmin} = \frac{F_k + G_k}{A} + \frac{M_k}{W} \tag{16-12}$$

式中 M_k——相应于作用的标准组合时，作用于基础底面的力矩值（kN·m）；

W——基础底面的抵抗矩（m^3）；

p_{kmin}——相应于作用的标准组合时，基础底面边缘的最小压力值（kPa）。

（3）当基础地面形状为矩形且偏心距 $e > b/6$ 时（图16-3），p_{kmax}应按下式计算：

$$p_{kmax}=\frac{2(F_k+G_k)}{3la} \quad (16\text{-}13)$$

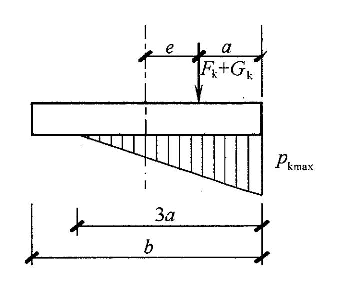


图 16-3　偏心荷载（$e>b/6$）下基底压力计算示意
b—力矩作用方向基础底面边长

式中　l——垂直于力矩作用方向的基础底面边长（m）；

a——合力作用点至基础底面最大压力边缘的距离（m）。

3. 地基承载力修正

当基础宽度大于 3m 或埋置深度大于 0.5m 时，从载荷试验或其他原位测试、经验值等方法确定的地基承载力特征值，尚应按下式修正：

$$f_a=f_{ak}+\eta_b\gamma(b-3)+\eta_d\gamma_m(d-0.5) \quad (16\text{-}14)$$

式中　f_a——修正后的地基承载力特征值（kPa）；

f_{ak}——地基承载力特征值（kPa），按《地基基础规范》第 5.2.3 条的原则确定；

η_b、η_d——基础宽度和埋置深度的地基承载力修正系数，按基底下土的类别查《地基基础规范》取值；

γ——基础底面以下土的重度（kN/m^3），地下水位以下取浮重度；

b——基础底面宽度（m），当基础底面宽度小于 3m 时按 3m 取值，大于 6m 时按 6m 取值；

γ_m——基础底面以上土的加权平均重度（kN/m^3），位于地下水位以下的土层取有效重度；

d——基础埋置深度（m），宜自室外地面标高算起。在填方整平地区，可自填土地面标高算起，但填土在上部结构施工后完成时，应从天然地面标高算起。对于地下室，当采用箱形基础或筏形基础时，基础埋置深度自室外地面标高算起；当采用独立基础或条形基础时，应从室内地面标高算起。

【要点】

◆从公式和修正系数、土层重度，分析影响地基承载力的因素。基础埋置深度越深，基础底面以下土层的重度越大，地基承载力越高；基础宽度越大，基础底面以下土层的重度越大，地基承载力越大。

◆将地基基础看作一个受压构件来理解地基承载力计算，其实就是一个轴心或偏心受压构件简单的应力计算。

例 16-6　除淤泥和淤泥质土外，相同地基上的基础，当宽度相同时，则埋深愈深地基的承载力：

A　愈大　　　　B　愈小

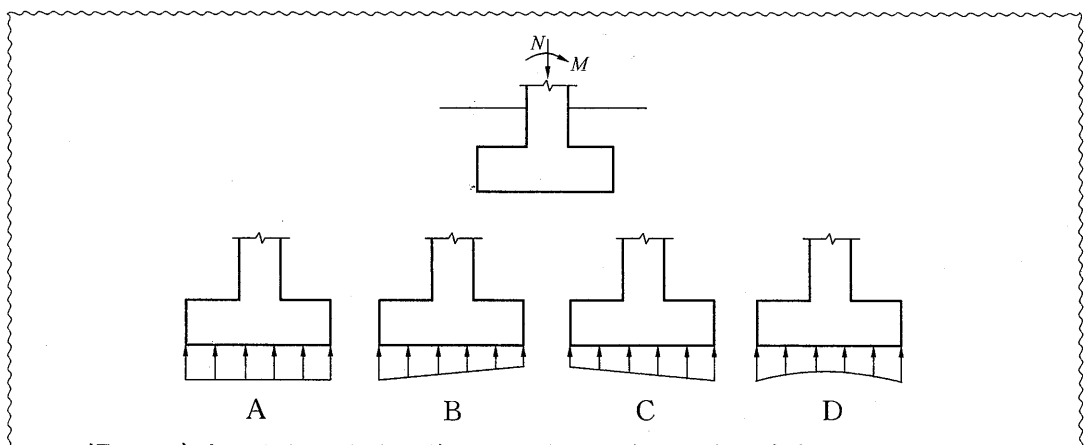
C　与埋深无关　　　　D　按不同土的类别而定

提示：相同地基上的基础，当宽度相同时，埋深愈深地基的承载力愈大。

答案：A

规范：《地基基础规范》第 5.2.4 条。

例 16-7　(12-113)　已知某柱下独立基础，在图示偏心荷载作用下，基础底面的土压力示意正确的是：



提示：有弯矩和轴压力共同作用时，为偏心受压状态，基底土压力如图 C 所示。

答案：C

注：在轴心压力作用下基础底面的土应力均匀分布，如图 A 所示。

四、变形计算

1. 建筑物的地基变形计算值，不应大于地基变形允许值。

2. 地基变形特征可分为沉降量、沉降差、倾斜或局部倾斜。

3. 在计算地基变形时，应符合下列规定：

（1）由于建筑地基不均匀、荷载差异很大、体型复杂等因素引起的地基变形，对于砌体承重结构应由局部倾斜控制；对于框架结构和单层排架结构应由相邻柱基的沉降差控制；对于多层或高层建筑和高耸结构应由倾斜控制；必要时尚应控制平均沉降量。

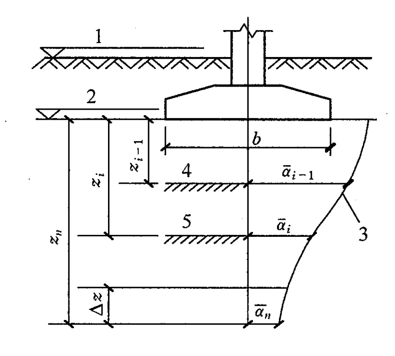


图 16-4　基础沉降计算的分层示意

1—天然地面标高；2—基底标高；3—平均附加应力系数 $\bar{\alpha}$ 曲线；4—i—1 层；5—i 层

（2）在必要情况下，需要分别预估建筑物在施工期间和使用期间的地基变形值，以便预留建筑物有关部分之间的净空，选择连接方法和施工顺序。

4. 建筑物的地基变形允许值应按规范的规定采用。

5. 计算地基变形时，地基内的应力分布，可采用各向同性均质线性变形体理论，其最终变形量可按规范要求计算（图 16-4）。

【要点】地基变形计算主要指地基最终沉降量计算。最终沉降量是由瞬时沉降、固结沉降和次固结沉降三部分组成。

6. 在同一整体大面积基础上建有多栋高层和低层建筑，宜考虑上部结构、基础与地基的共同作用，进行变形计算。

7. 下列建筑物应在施工期间及使用期间进行变形观测：

（1）地基基础设计等级为甲级的建筑物；

（2）软弱地基上的地基基础设计等级为乙级的建筑物；

（3）处理地基上的建筑物；

（4）加层、扩建建筑物；

（5）受邻近深基坑开挖施工影响或受场地地下水等环境因素变化影响的建筑物；

（6）采用新型基础或新型结构的建筑物。

例 16-8 （08-131）关于建筑物的地基变形计算及控制，以下说法正确的是：

A 砌体承重结构应由沉降差控制

B 高耸结构应由倾斜值及沉降量控制

C 框架结构应由局部倾斜控制

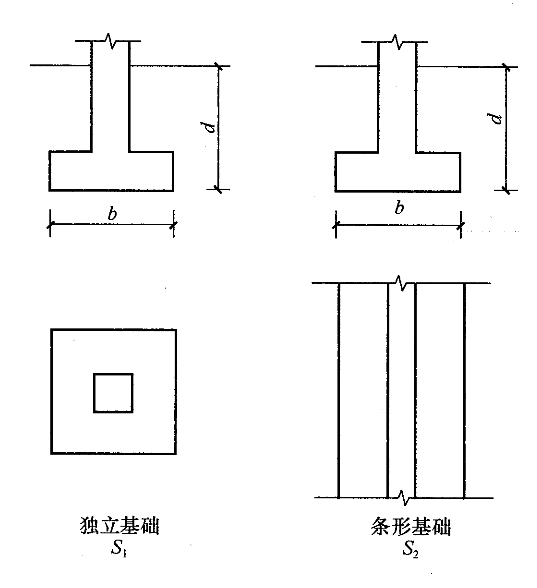
D 单层排架结构仅由沉降量控制

提示：结构形式不同，地基变形特点不同，变形计算控制应根据结构形式特点来确定变形计算和控制。地基变形特征值可分为沉降量、沉降差、倾斜、局部倾斜，对于多层或高耸结构应由倾斜值及沉降量控制。

答案：B

规范：《地基基础规范》第 5.3.2 条、第 5.3.3-1 条。

例 16-9 （09-122）在同一非岩地基上，有相同埋置深度 d、基础底面宽度 b 和附加压力的独立基础和条形基础，其地基的最终变形量分别为 S_1、S_2，关于两者大小判断正确的是：



A $S_1<S_2$　　B $S_1=S_2$　　C $S_1>S_2$　　D 不能确定

提示：地基的最终变形量不仅与基础埋深 d、基础底面宽度 b 和基础底面附加应力大小有关，还与附加应力在地基（土层）中的扩散有关。

条形基础的附加应力大，说明条形基础的附加应力影响深度大于独立基础（独立基础附加应力向四面扩散，而条形基础只能向两个面扩散）。因此独立基础的最终变形量小于条形基础的变形量，即 $S_1<S_2$。

也可以把条形基础看作是由若干个独立基础组成，这样条形基础的沉降要比独立基础的大，最终地基的变形量 $S_1<S_2$。

答案： A

规范：《地基基础规范》第 5.3.5 条。

五、稳定性计算

1. 地基稳定性

地基稳定性可采用圆弧滑动面法进行验算。最危险的滑动面上诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩与滑动力矩应符合下式要求：

$$M_R/M_S \geqslant 1.2 \tag{16-15}$$

式中 M_S——滑动力矩（kN·m）；

M_R——抗滑力矩（kN·m）。

【要点】一般对处于平整地基上的建筑物，只要基础具有必须的埋置深度以保证其承载力，就不会由于倾覆或滑移而导致破坏。但对于高大的建筑物，如地下水位在基础地面以上，特别是当建筑物经常受水平荷载或位于斜坡上，或存在倾斜或软弱底层时，有必要进行地基稳定性验算。

2. 抗浮稳定性

建筑物基础存在浮力作用时应进行抗浮稳定性验算，并应符合下列规定：

（1）对于简单的浮力作用情况，基础抗浮稳定性应符合下式要求：

$$G_k/N_{w,k} \geqslant K_w \tag{16-16}$$

式中 G_k——建筑物自重及压重之和（kN）；

$N_{w,k}$——浮力作用值（kN）；

K_w——抗浮稳定安全系数，一般情况下可取 1.05。

（2）抗浮稳定性不满足设计要求时，可采用增加压重或设置抗浮构件等措施。在整体满足抗浮稳定性要求而局部不满足时，也可采用增加结构刚度的措施。

第六节 山 区 地 基

一、一般规定

工程地质条件复杂多变是山区（包括丘陵地带）地基的显著特征。选择适宜的建设场地和建筑物地基尤为重要。详见《地基基础规范》第 6.1 节。

二、土岩组合地基

常见的一种复杂类型地基。在建筑地基（或被沉降缝分隔区段的建筑地基）的主要受力层范围内，如遇下列情况之一者，属土岩组合地基：

1. 下卧基岩表面坡度较大的地基；
2. 石芽密布并有出露的地基；
3. 大块孤石或个别石芽出露的地基。

【要点】当建筑物对地基变形要求较高或地质条件比较复杂不宜按一般规定进行地基处理时，可调整建筑平面位置或采用桩基或梁、拱跨越等处理措施。

在地基压缩性相差较大的部位，宜结合建筑平面形状、荷载条件设置沉降缝。

三、填土地基

1. 当利用压实填土作为建筑工程的地基持力层时，在平整场地前，应根据结构类型、填料性能和现场条件等，对拟压实的填土提出质量要求。未经检验查明以及不符合质量要求的压实填土，均不得作为建筑工程的地基持力层。

注：按其堆填方式分为压实填土和未经填方设计已形成的填土两类。

2. 当利用未经填方设计处理形成的填土作为建筑物地基时，应查明填料成分与来源，填土的分布、厚度、均匀性、密实度与压缩性以及填土的堆积年限等情况，根据建筑物的重要性、上部结构类型、荷载性质与大小、现场条件等因素，选择合适的地基处理方法，并提出填土地基处理的质量要求与检验方法。

3. 拟填实的填土地基应根据建筑物对地基的具体要求，进行填方设计。填方设计的内容包括填料的性质、压实机械的选择、密实度要求、质量监督和检验方法等。对重大的填方工程，必须在填方设计前选择典型的场区进行现场试验，取得填方设计参数后，才能进行填方工程的设计与施工。

4. 填方工程设计前应具备详细的场地地形、地貌及工程地质勘察资料。位于塘、沟、积水洼地等地区的填土地基，应查明地下水的补给与排泄条件、底层软弱土体的清除情况、自重固结程度等。

5. 对含有生活垃圾或有机质废料的填土，未经处理不宜作为建筑物地基使用。

6. 压实填土的填料，应符合下列规定：

(1) 级配良好的砂土或碎石土；以卵石、砾石、块石或岩石碎屑作填料时，分层压实时其最大粒径不宜大于200mm，分层夯实时其最大粒径不宜大于400mm；

(2) 性能稳定的矿渣、煤渣等工业废料；

(3) 以粉质黏土、粉土作填料时，其含水量宜为最优含水量，可采用击实试验确定；

(4) 挖高填低或开山填沟的土石料，应符合设计要求；

(5) 不得使用淤泥、耕土、冻土、膨胀性土以及有机质含量大于5%的土。

7. 填土地基在进行压实施工时，应注意采取地面排水措施，当其阻碍原地表水畅通排泄时，应根据地形修建截水沟，或设置其他排水设施。设置在填土区的上、下水管道，应采取防渗、防漏措施，避免因漏水使填土颗粒流失，必要时应在填土土坡的坡脚处设置反滤层。

8. 位于斜坡上的填土，应验算其稳定性。对由填土而产生的新边坡，当填土边坡坡度符合边坡坡度允许值时，可不设置支挡结构。当天然地面坡度大于20%时，应采取防止填土可能沿坡面滑动的措施，并应避免雨水沿斜坡排泄。

例 16-10 (09-132) 对于压实填土地基，下列哪种材料不适宜作为压实填土的填料？

A 砂土　　B 碎石土　　C 膨胀土　　D 粉质黏土

提示：不得使用淤泥、耕土、冻土、膨胀土以及有机含量大于5%的土，其中膨胀土是土中黏粒成分主要由亲水性矿物组成。同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩两种变形特性的黏性土，不能作为压实填土的填料。

答案：C

规范：《地基基础规范》第 6.3.6-5 条。

四、滑坡防治

1. 在建筑场区内，由于施工或其他因素的影响有可能形成滑坡的地段，必须采取可靠的预防措施。对具有发展趋势并威胁建筑物安全使用的滑坡，应及早采取综合整治措施，防止滑坡继续发展。

2. 应根据工程地质、水文地质条件以及施工影响等因素，分析滑坡可能发生或发展的主要原因，采取下列防治滑坡的处理措施：

（1）排水。应设置排水沟以防止地面水浸入滑坡地段，必要时尚应采取防渗措施。在地下水影响较大的情况下，应根据地质条件，设置地下排水工程。

（2）支挡。根据滑坡推力的大小、方向及作用点，可选用重力式抗滑挡墙、阻滑桩及其他抗滑结构。抗滑挡墙的基底及阻滑桩的桩端应埋置于滑动面以下的稳定土（岩）层中。必要时，应验算墙顶以上的土（岩）体从墙顶滑出的可能性。

3. 卸载。在保证卸载区上方及两侧岩土稳定的情况下，可在滑体主动区卸载，但不得在滑体被动区卸载。

4. 反压。在滑体的阻滑区段增加竖向荷载以提高滑体的阻滑安全系数。

例 16-11 （08-121）防治滑坡的措施，不正确的是：

A 采取排水和支挡措施

B 在滑体的主动区卸载

C 在滑体的阻滑区增加竖向荷载

D 在滑体部分灌注水泥砂浆

提示：防止滑坡的处理措施有：排水、支挡、卸载、反压，在滑体部分灌注水泥砂浆起不到防治滑坡的作用。

答案：D

规范：《地基基础规范》第 6.4.2 条。

五、岩石地基

【要点】*岩石相对于土而言，具有较坚固的刚性连接，因而具有较高的强度和较小的透水性。岩石地基具有承载力高、压缩性低和稳定性强的特点。*

1. 岩石地基基础设计应符合下列规定：

（1）置于完整、较完整、较破碎岩体上的建筑物可仅进行地基承载力计算。

（2）地基基础设计等级为甲、乙级的建筑物，同一建筑物的地基存在坚硬程度不同，两种或多种岩体变形模量差异达 2 倍及 2 倍以上，应进行地基变形验算。

（3）地基主要受力层深度内存在软弱下卧岩层时，应考虑软弱下卧岩层的影响，进行地基稳定性验算。

（4）桩孔、基底和基坑边坡开挖应采用控制爆破，到达持力层后，对软岩、极软岩表面应及时封闭保护。

（5）当基岩面起伏较大，且都使用岩石地基时，同一建筑物可以使用多种基础形式。

（6）当基础附近有临空面时，应验算向临空面倾覆和滑移稳定性。存在不稳定的临空面时，应将基础埋深加大至下伏稳定基岩；亦可在基础底部设置锚杆，锚杆应进入下伏稳定岩体，并满足抗倾覆和抗滑移要求。同一基础的地基可以放阶处理，但应满足抗倾覆和抗滑移要求。

（7）对于节理、裂隙发育及破碎程度较高的不稳定岩体，可采用注浆加固和清爆填塞等措施。

2. 对遇水易软化和膨胀、易崩解的岩石，应采取保护措施减少其对岩体承载力的影响。

六、岩溶与土洞

岩溶是石灰岩、白云岩、石膏、岩盐等可溶性岩石在水的溶蚀作用下产生的各种地质作用、形态和现象的总称。

1. 在岩溶地区应考虑其对地基稳定的影响。

2. 由于岩溶发育具有严重的不均匀性，为区别对待不同岩溶发育程度场地上的地基基础设计，将岩溶场地分为岩溶强发育、中等发育和微发育三个等级。

3. 地基基础设计等级为甲级、乙级的建筑物主体宜避开岩溶强发育地段。

七、土质边坡和重力式挡墙

1. 边坡设计应符合下列规定：

（1）边坡设计应保护和整治边坡环境。

（2）对于平整场地而出现的新边坡，应及时进行支挡或构造防护。

（3）应根据边坡类型、边坡环境、边坡高度及可能的破坏模式，选择适当的边坡稳定计算方法和支挡结构形式。

（4）支挡结构设计应进行整体稳定性验算、局部稳定性验算、地基承载力计算、抗倾覆稳定性验算、抗滑移稳定性验算及结构强度计算。

（5）边坡工程设计前，应进行详细的工程地质勘察，并应对边坡的稳定性做出准确的评价；对周围环境的危害性做出预测。

（6）边坡的支挡结构应进行排水设计。支挡结构后面的填土，应选择透水性强的填料。

2. 挡土墙分类

岩土工程中的“支挡”结构，用于“边坡”方面的支挡结构一般称“挡土墙”或“挡墙”，主要有重力式、悬臂式、扶壁式、锚杆式、锚定板式和土钉墙式，见图16-5。

【要点】

◆用于“边坡”方面的支挡结构一般称“挡土墙”或“挡墙”，主要有重力式、悬臂式、扶壁式、锚杆式、锚定板式和土钉墙式等。其中重力式挡土墙近年考试多有涉及，应重视。

◆用于“基坑支护”的支挡结构，也属挡土墙，习惯上称为“支护结构”，主要有排桩、地下连续墙、水泥土墙、逆作拱墙等。

◆地下室和地下结构的挡墙，常与建筑物或构筑物的结构结合，由水平的顶板和地板支撑。

◆锚杆式挡土墙由锚固在坚硬地基中的锚杆拉结。

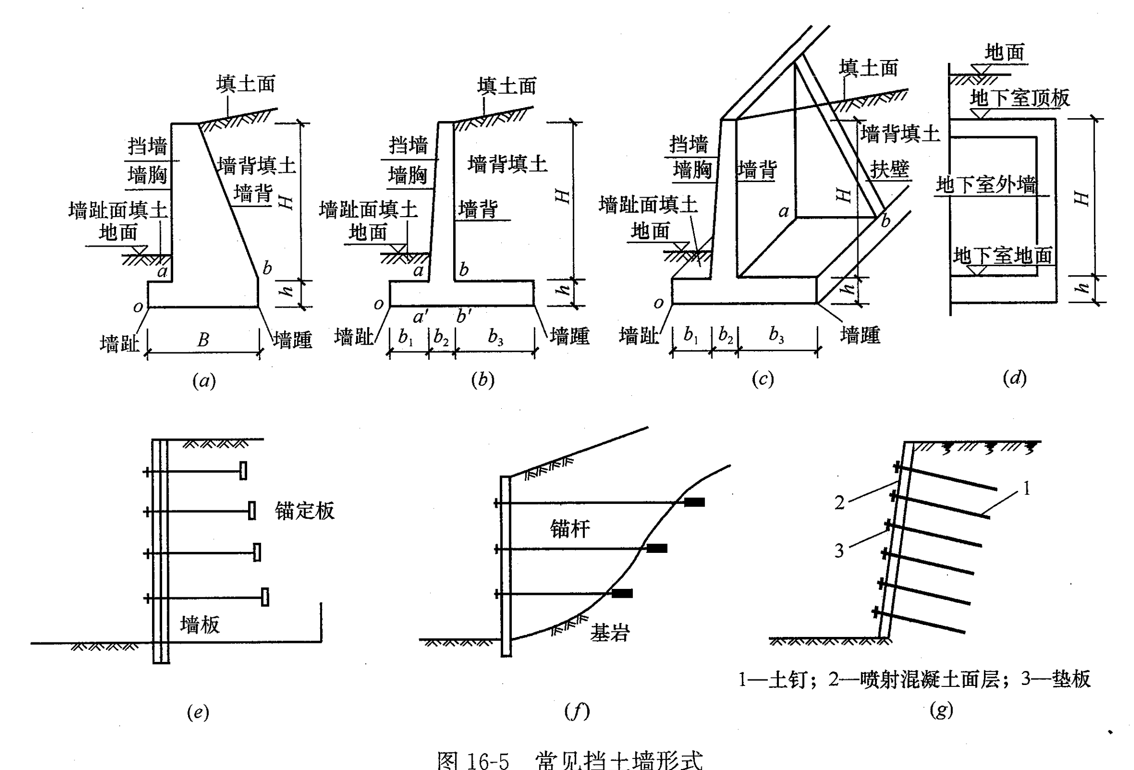
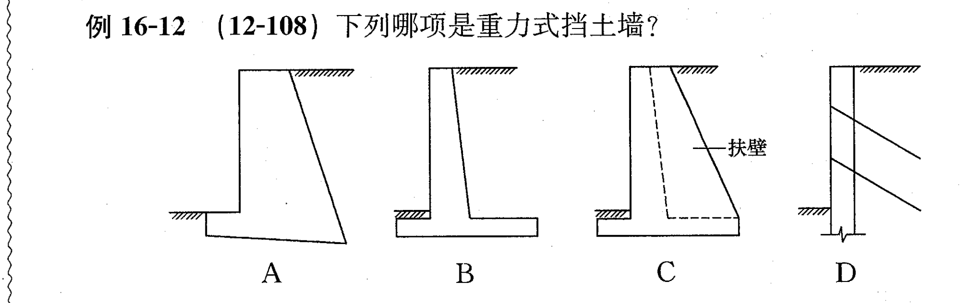


图 16-5　常见挡土墙形式

（a）重力式挡墙；（b）悬臂式挡墙；（c）扶壁式挡墙；（d）地下室外墙
（e）锚定板式；（f）锚杆式；（g）土钉墙式

例 16-12　（12-108）下列哪项是重力式挡土墙？



提示：

选项 A 属于重力式挡土墙；主要靠自重的重力来抵抗墙背土压力作用，维持自身稳定；

选项 B 为半重力式挡土墙；在挡土墙较高时，为节省材料，可做成半重力式挡土墙。因墙断面较薄，要靠墙身底板上的填土来保证稳定；

选项 C 为扶壁式轻型结构挡土墙；墙身稳定靠底板上的填土，墙设扶壁可以减小挡土墙厚度和增加墙身稳定，可用于墙高 9～15m 的挡土墙。

选项 D 为锚杆式挡土墙，可用于临时边坡支护和加固工程。

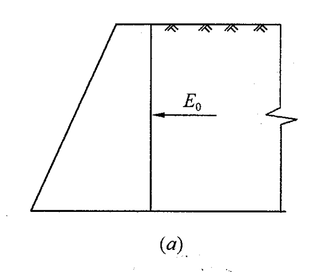
答案：A

3. 挡土墙的土压力

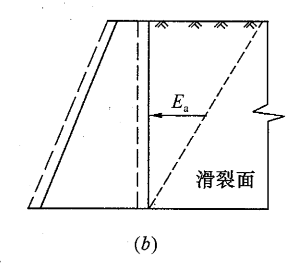
挡土结构所受的侧向压力称为土压力。

（1）土压力分类

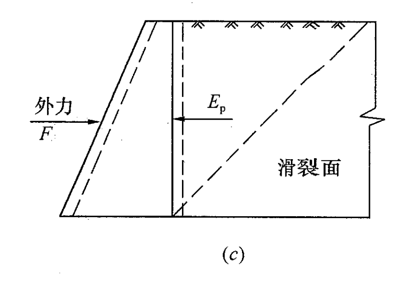
作用在挡土结构上的土压力，按挡土结构的位移方向、大小及土体所处的极限平衡状态，分为三种：静止土压力、主动土压力、被动土压力，见图 16-6。



(a)



(b)



(c)

图 16-6　土压力分类

（*a*）静止土压力；（*b*）主动土压力；（*c*）被动土压力

（2）土压力的大小

主动土压力最小，静止土压力居中，被动土压力最大。

主动土压力（最小）——多数挡土墙采用（土推墙）；

静止土压力（居中）——地下室外墙；

被动土压力（最大）——拱脚基础采用（墙推土）。

（3）土压力分布

土压力沿挡土结构竖向一般为三角形分布，墙顶处压力小，墙底处压力大。

如果取单位挡土结构长度，则作用在挡土结构上的静止土压力如图 16-7 所示。

$$E_0=\frac{1}{2}\gamma h^2K_0 \qquad (16\text{-}17)$$

式中　E_0——静止土压力（kN）；

γ——填土的重度（kN/m³）；

h——挡土墙高度（m）；

K_0——静止土压力系数。

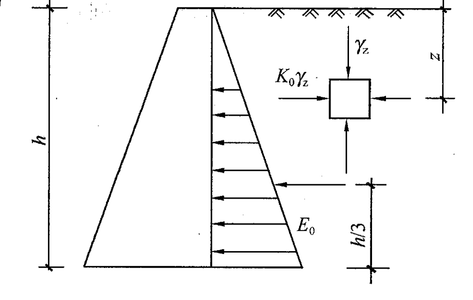


图 16-7　墙背竖直时的静止土压力

4. 重力式挡土墙

重力式挡土墙应用较广泛，利用挡土结构自身的重力，以支挡土质边坡的横推力，常采用条石垒砌或采用混凝土浇筑。

（1）挡土墙设计

应根据地质条件、材料和施工等因素考虑，内容包括：

1）抗滑移稳定性验算［图 16-8（*a*）］；

2）抗倾覆稳定性验算［图 16-8（*b*）］；

3）抗整体滑动稳定性（圆弧滑动面法）验算［图 16-8（*c*）］；

4）地基承载力验算［图 16-8（*d*）］。

（2）重力式挡土墙的体型构造

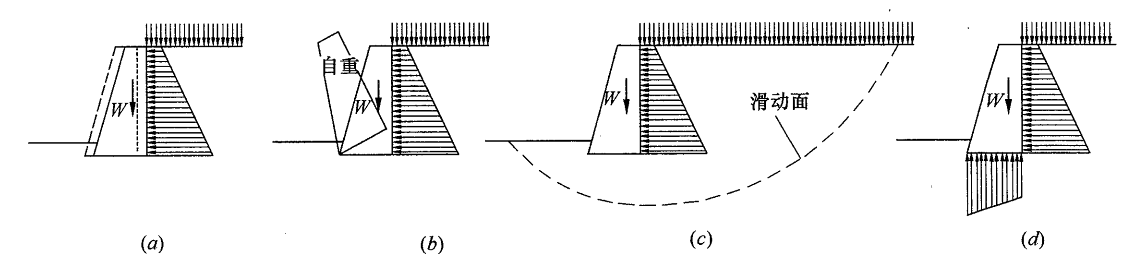


图 16-8　重力式挡土墙的验算

（a）抗滑移稳定性验算；（b）抗倾覆稳定性验算；（c）抗整体滑动稳定性验算；（d）地基承载力验算

1）挡土墙的各部位名称及墙背倾斜形式

重力式挡土墙的各部位名称及墙背的倾斜形式有仰视、直立和俯斜三种，如图 16-9 所示。

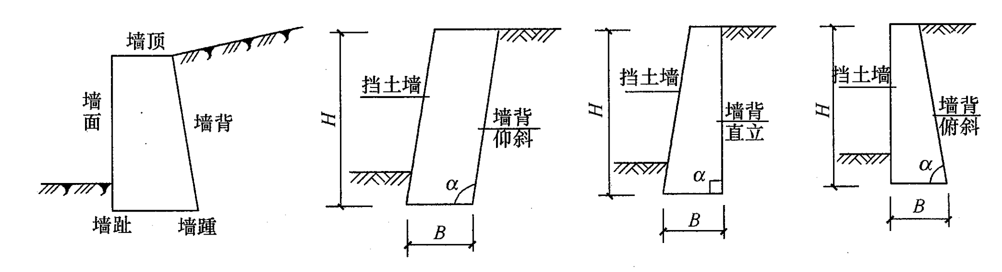


图 16-9　重力式挡土墙墙背倾斜形式

相同情况下，仰斜式受到的主动土压力最小，直立式居中，俯斜式最大。为减小墙背的土压力，选择仰斜式最为合理。另外仰斜墙重心后移，加大了抗倾覆力臂，提高了抗倾覆的稳定性。

当边坡采用挖方时，仰斜式较为合理，此时墙背可以与开挖的边坡紧密贴合；如果边坡是填方，由于仰斜墙背的填土夯实比直立式和俯斜式困难，则选择直立式和俯斜式更为合理。但当墙前地形较陡时不宜采用。

2）基底逆坡

将基底做成逆坡或将基础做成锯齿状是增加挡土墙的抗滑稳定性的有效方法。在墙体稳定性验算中，抗滑移稳定性一般比抗倾覆稳定更不易满足要求。但基底逆坡坡度也不能过大，以免造成墙身连同墙底的土体一起滑动，见图 16-10、图 16-11。

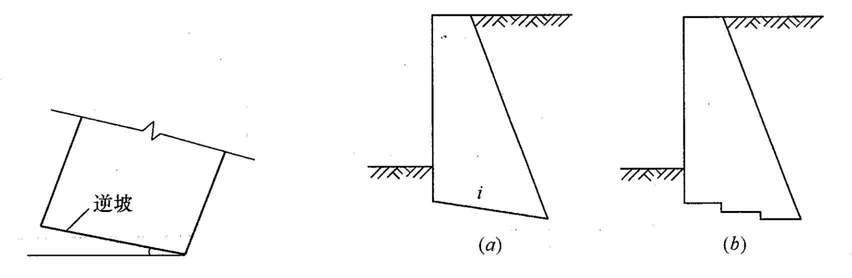


图 16-10　基底逆坡　　　图 16-11　增强挡土墙抗滑移能力的措施

3）墙趾台阶

当墙高较大，基底压力超过地基承载力时，设置墙趾台阶增大底面宽度，同时还有利于提高挡土墙的抗滑移和抗倾覆稳定性，见图 16-12、图 16-13。

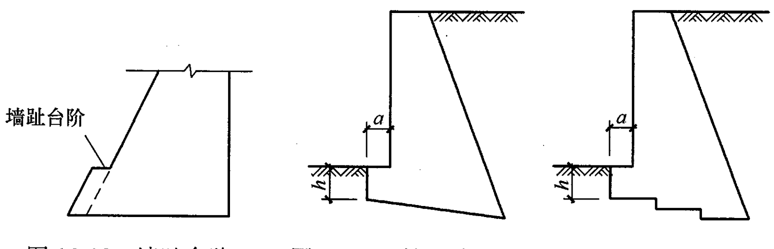


图 16-12　墙趾台阶　　图 16-13　挡土墙下地基承载力不满足时的措施

例 16-13　（14-104）某悬臂式挡土墙，如图所示，当抗滑移验算不足时，在挡土墙埋深不变的情况下，下列措施最有效的是：

A　仅增加 a　　B　仅增加 b

C　仅增加 c　　D　仅增加 d

提示：增加 c 值，对抗滑移最有效。

答案：C

例 16-14　（11-113）在挡土墙设计中，可以不必进行的验算为（　　）。

A　地基承载力验算　　B　地基变形计算

C　抗滑移验算　　D　抗倾覆验算

提示：对挡土墙设计，应进行地基承载力验算、抗倾覆验算和抗滑移验算，可不进行的是地基变形计算。

答案：B

规范：《地基基础规范》第 6.7.4 条第 1、2、3、4 款。

（3）重力式挡土墙的构造应符合下列规定：

1）重力式挡土墙适用于高度小于 8m、地层稳定、开挖土石方时不会危及相邻建筑安全的地段。

2）重力式挡土墙可在基底设置逆坡。对于土质地基，基底逆坡坡度不宜大于 1∶10；对于岩石地基，基底逆坡坡度不宜大于 1∶5。

3）毛石挡土墙的墙顶宽度不宜小于 400mm；混凝土挡土墙的墙顶宽度不宜小于 200mm。

4）重力式挡土墙的基础埋深，应根据地基承载力、水流冲刷、岩石裂隙发育及风化程度等因素进行确定。在特强冻胀、强冻胀地区应考虑冻胀的影响。在土质地基中，基础埋置深度不宜小于 0.5m；在软质岩地基中，基础埋置深度不宜小于 0.3m。

5）重力式挡土墙应每间隔 10～20m 设置一道伸缩缝。当地基有变化时宜加设沉降缝。在挡土墙的拐角处，应采取加强的构造措施。

（4）桩锚支挡结构体系

在有岩体存在的山区，可采用桩锚支挡结构体系。该支挡结构体系，由竖桩（立柱）、岩石锚杆等主要承力构件组成，辅以连系梁、压顶梁、面板等构件，组成完整的支挡结构体系，优于重力式挡土墙，如图 16-14。

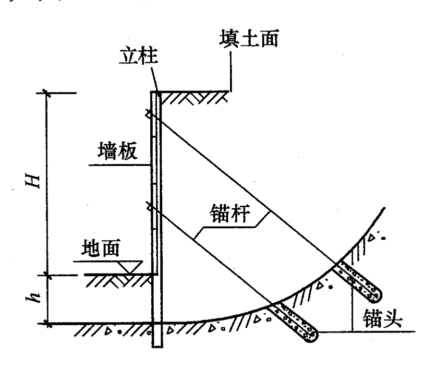


图 16-14　锚杆挡土墙由锚固在坚硬地基中的锚杆拉结

第七节　软　弱　地　基

一、一般规定

1. 当地基压缩层主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成时应按软弱地基进行设计。在建筑地基的局部范围内有高压缩性土层时，应按局部软弱土层处理。

2. 勘察时，应查明软弱土层的均匀性、组成、分布范围和土质情况；冲填土尚应了解排水固结条件，杂土应查明堆积历史，明确自重压力下的稳定性、湿陷性等基本因素。

3. 设计时应考虑上部结构和地基的共同作用。对建筑体型、荷载情况、结构类型和地质条件进行综合分析，确定合理的建筑措施、结构措施和地基处理方法。

4. 施工时应注意对淤泥和淤泥质土基槽底面的保护，减少扰动。荷载差异较大的建筑物，宜先建重、高部分，后建轻、低部分。

5. 活荷载较大的构筑物或构筑物群（如料仓、油罐等），使用初期应根据沉降情况控制加载速率，掌握加载间隔时间，或调整活荷载分布，避免过大倾斜。

【要点】

◆ 软土的主要物理力学特性是含水量高、高压缩性、天然抗剪强度较低等。

◆ 由于软弱土的物质组成、成因及存在环境（如水的影响等）不同，不同的软弱地基其性质可能完全不同。

二、利用与处理

1. 利用软弱土层作为持力层时，应符合下列规定：

（1）淤泥和淤泥质土，宜利用其上覆较好土层作为持力层；当上覆土层较薄时，应采取避免施工时对淤泥和淤泥质土扰动的措施。

（2）冲填土、建筑垃圾和性能稳定的工业废料，当均匀性和密实度较好时，可利用作为轻型建筑物地基的持力层。

2. 局部软弱土层以及暗塘、暗沟等，可采用基础梁、换土、桩基或其他方法处理。

3. 当地基承载力或变形不能满足设计要求时，地基处理可选用机械压实、堆载预压、真空预压、换填垫层或复合地基等方法。处理后的地基承载力应通过试验确定。

4. 机械压实包括重锤夯实、强夯、振动压实等方法，可用于处理由建筑垃圾或工业废料组成的杂填土地基，处理有效深度应通过试验确定。

5. 堆载预压可用于处理较厚淤泥和淤泥质土地基。预压荷载宜大于设计荷载，预压时间应根据建筑物的要求以及地基固结情况决定，并应考虑堆载大小和速率对堆载效果和周围建筑物的影响。采用塑料排水带或砂井进行堆载预压和真空预压时，应在塑料排水带或砂井顶部做排水砂垫层。

6. 换填垫层（包括加筋垫层）可用于软弱地基的浅层处理。垫层材料可采用中砂、粗砂、砾砂、角（圆）砾、碎（卵）石、矿渣、灰土、黏性土以及其他性能稳定、无腐蚀性的材料。加筋材料可采用高强度、低徐变、耐久性好的土工合成材料。

7. 复合地基设计应满足建筑物承载力和变形要求。当地基土为欠固结土、膨胀土、湿陷性黄土、可液化土等特殊性土时，设计采用的增强体和施工工艺应满足处理后地基土和增强体共同承担荷载的技术要求。

8. 复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定，或采用增强体载荷试验结果和周边土的承载力特征值结合经验确定。

9. 增强体顶部应设褥垫层。褥垫层可采用中砂、粗砂、砾砂、碎石、卵石等散体材料。碎石、卵石宜掺入20%～30%的砂。

例 16-15 （08-122） 机械压实地基措施，一般适用于下列哪一种地基？

A 含水量较大的黏性土地基　　B 淤泥地基

C 淤泥质土地基　　D 建筑垃圾组成的杂填土地基

提示： A、B、C是含水量较大的黏土和淤泥类地基，不适合采用机械压实处理。

答案： D

规范：《地基基础规范》第7.2.4条。

注：机械压实包括重锤夯实、强夯、振动压实等方法，可用于处理由建筑垃圾或工业废料组成的杂填土地基。

例 16-16 （14-110） 关于地基处理的作用，下列说法错误的是：

A 提高地基承载力

B 改善场地条件，提高场地类别

C 减小地基变形，减小基础沉降量

D 提高地基稳定性，减少不良地质隐患

提示： 地基处理是为了提高地基的承载力，减小地基的变形，减小基础沉降量，提高地基稳定性；与场地条件、类别无关。故正确答案是B。

建筑场地类别应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度来划分。

答案： B

规范：《抗震规范》第4.1.2条。

三、建筑措施

软弱地基上的建筑物沉降比较显著，且不均匀，沉降稳定的时间很长，如果处理不好，会造成建筑物的倾斜、开裂或损坏，造成工程事故。

地基基础和上部结构是整体，共同作用，因此地基设计上除地基变形满足建筑物允许变形外，还应根据地基不均匀变形的分布规律，**在建筑布置和结构处理上采取必要措施，使上部建筑结构适应地基变形**。

1. 在满足使用和其他要求的前提下，建筑体型应力求简单。当建筑体型比较复杂时，宜根据其平面形状和高度差异情况，在适当部位用沉降缝将其划分成若干个刚度较好的单元；当高度差异（或荷载差异）较大时，可将两者隔开一定距离，若拉开距离后的两单元必须连接时，应采用能自由沉降的连接构造。

2. 建筑物设置沉降缝时，应符合下列规定：

（1）建筑物的下列部位，宜设置沉降缝：

1）建筑平面的转折部位；

2）高度差异或荷载差异处；

3）长高比过大的砌体承重结构或钢筋混凝土框架结构的适当部位；

4）地基土的压缩性有显著差异处；

5）建筑结构或基础类型不同处；

6）分期建造房屋的交界处。

（2）沉降缝应有足够的宽度，沉降缝宽度可按表 16-10 选用。

房屋沉降缝的宽度 **表 16-10**

房屋层数	沉降缝宽度（mm）
二～三	50～80
四～五	80～120
五层以上	不小于 120

3. 相邻建筑物基础间的净距，可按表 16-11 选用。

相邻建筑物基础间的净距（m） **表 16-11**

影响建筑的预估平均沉降量 s（mm） \ 被影响建筑的长高比	$2.0 \leq \frac{L}{H_f} < 3.0$	$3.0 \leq \frac{L}{H_f} < 5.0$
70～150	2～3	3～6
160～250	3～6	6～9
260～400	6～9	9～12
＞400	9～12	不小于 12

注：1. 表中 L 为建筑物长度或沉降缝分隔的单元长度（m）；H_f 为自基础底面标高算起的建筑物高度（m）；

2. 当被影响建筑的长高比为 $1.5 < L/H_f < 2.0$ 时，其间净距可适当缩小。

4. 相邻高耸结构或对倾斜要求严格的构筑物的外墙间隔距离，应根据倾斜允许值计算确定。

5. 建筑物各组成部分或设备之间的沉降差处理。

建筑物各组成部分的标高，应根据可能产生的不均匀沉降采取下列相应措施：

(1) 室内地坪和地下设施的标高，应根据预估沉降量予以提高。建筑物各部分（或设备之间）有联系时，可将沉降较大者标高提高。

(2) 建筑物与设备之间，应留有足够的净空。当建筑物有管道穿过时，应预留孔洞，或采用柔性的管道接头等。

【要点】

◆ 建筑体型的合理组合（体型简单、高度和荷载均匀）；

◆ 对体型复杂或过长的建筑物设置沉降缝，并采用增强基础和上部结构刚度的方法，使每个单元具有适应和调整地基不均匀变形的能力；

◆ 相邻建筑物基础间保持一定的净距；

◆ 建筑物各组成部分或设备之间的沉降差处理。

四、结构措施

建筑物沉降的均匀程度不仅与地基的均匀性和上部结构的荷载分布情况有关，还与建筑物的整体刚度有关。**建筑物的整体刚度是指建筑物抵抗自身变形的能力**。

1. 为减少建筑物沉降和不均匀沉降，可采用下列措施：

(1) 选用轻型结构，减轻墙体自重，采用架空地板代替室内填土；

(2) 设置地下室或半地下室，采用覆土少、自重轻的基础形式；

(3) 调整各部分的荷载分布、基础宽度或埋置深度；

(4) 对不均匀沉降要求严格的建筑物，可选用较小的基底压力。

2. 对于建筑体型复杂、荷载差异较大的框架结构，可采用箱基、桩基、筏基等可加强基础整体刚度，减少不均匀沉降。

3. 对于砌体承重结构的房屋，宜采用下列措施增强整体刚度和承载力：

(1) 对于三层和三层以上的房屋，其长高比 L/H_f 宜小于或等于 2.5；当房屋的长高比为 $2.5<L/H_f\leqslant3.0$ 时，宜做到纵墙不转折或少转折，并应控制其内横墙间距或增强基础刚度和承载力。当房屋的预估最大沉降量小于或等于 120mm 时，其长高比可不受限制。

(2) 墙体内宜设置钢筋混凝土圈梁或钢筋砖圈梁。

(3) 在墙体上开洞时，宜在开洞部位配筋或采用构造柱及圈梁加强。

4. 圈梁应按下列要求设置：

(1) 在多层房屋的基础和顶层处应各设置一道，其他各层可隔层设置，必要时也可逐层设置。单层工业厂房、仓库，可结合基础梁、连系梁、过梁等酌情设置；

(2) 圈梁应设置在外墙、内纵墙和主要内横墙上，并宜在平面内连成封闭系统。

【要点】

◆ 减少沉降和不均匀沉降的措施。

◆ 框架结构（体型复杂、荷载差异较大的）可加强基础整体刚度，如采用箱基、桩基、厚筏等，以减少不均匀沉降。

◆ 砌体结构（加强整体刚度的措施）。

◆ 圈梁的设置部位和数量（关键部位、连续封闭）。圈梁应根据地基不均匀变形、建

筑物建成后可能的挠曲方向等因素确定。如建筑物可能发生正向挠曲时，应保证在基础处设置；反之，若可能发生反向挠曲时，则首先应保证顶层设置圈梁。

例 16-17 （12-105） 建造在软弱地基上的建筑物，在适当部位设置沉降缝，下列哪一种说法是不正确的？

A 建筑平面的转折部位

B 长度大于 50m 的框架结构的适当部位

C 高度差异处

D 地基土的压缩性有明显差异处

提示： 在软弱地基上的建筑物设置沉降缝与结构的长高比有关。

答案： B

规范：《地基基础规范》第 7.3.2 条第 3 款。

五、大面积地面荷载

1. 在建筑范围内具有地面荷载的单层工业厂房、露天车间和单层仓库的设计，应考虑由于地面荷载所产生的地基不均匀变形及其对上部结构的不利影响。当有条件时，宜利用堆载预压过的建筑场地。

注：地面荷载系指生产堆料、工业设备等地面堆载和天然地面上的大面积填土。

2. 地面堆载应力求均衡，并应根据使用要求、堆载特点、结构类型和地质条件，确定允许堆载量和范围。

堆载不宜压在基础上。大面积的填土，宜在基础施工前三个月完成。

3. 地面堆载荷载应满足地基承载力、变形、稳定性要求，并应考虑对周边环境的影响。当堆载量超过地基承载力特征值时，应进行专项设计。

4. 厂房和仓库的结构设计，可适当提高柱、墙的抗弯能力，增强房屋的刚度。对于中、小型仓库，宜采用静定结构。

5. 特殊情况时宜采用桩基，详见《地基基础规范》。

第八节　基　　础

房屋基础形式种类很多：有无筋扩展基础，（如毛石基础、混凝土基础等），扩展基础（如杯口基础），箱形基础与筏形基础及桩基础等。

一、无筋扩展基础

无筋扩展基础系指由砖、毛石、混凝土或毛石混凝土、灰土和三合土等材料组成的墙下条形基础或柱下独立基础。无筋扩展基础，适用于多层民用建筑和轻型厂房。

无筋扩展基础（图 16-15）高度应满足下式要求：

$$H_0 \geqslant (b - b_0)/2\tan\alpha \qquad (16\text{-}18)$$

式中 b——基础底面宽度（m）；

b_0——基础顶面的墙体宽度或柱脚宽度（m）；

H_0——基础高度（m）；

b_2——基础台阶宽度（m）；

$\tan\alpha$——基础台阶宽高比 $b_2:H_0$，其允许值可按表 16-12 选用。

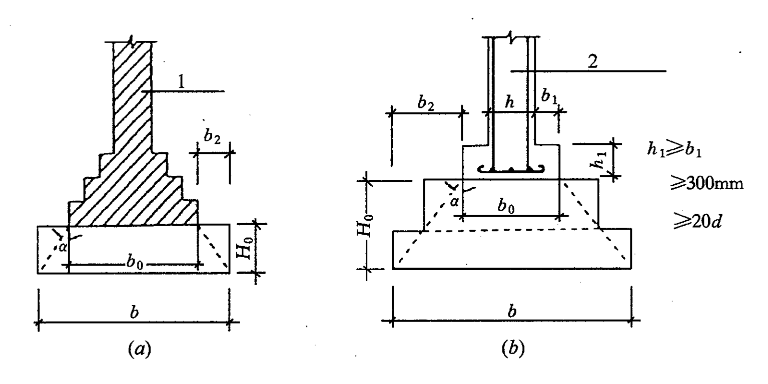


图 16-15 无筋扩展基础构造示意

d—柱中纵向钢筋直径；1—承重墙；2—钢筋混凝土柱

无筋扩展基础台阶宽高比的允许值 **表 16-12**

基础材料	质量要求	台阶宽高比的允许值		
		$p_k \leqslant 100$	$100 < p_k \leqslant 200$	$200 < p_k \leqslant 300$
混凝土基础	C15 混凝土	1∶1.00	1∶1.00	1∶1.25
毛石混凝土基础	C15 混凝土	1∶1.00	1∶1.25	1∶1.50
砖基础	砖不低于 MU10、砂浆不低于 M5	1∶1.50	1∶1.50	1∶1.50
毛石基础	砂浆不低于 M5	1∶1.25	1∶1.50	—
灰土基础	体积比为 3∶7 或 2∶8 的灰土，其最小干密度： 粉土 1550kg/m^3 粉质黏土 1500kg/m^3 黏土 1450kg/m^2	1∶1.25	1∶1.50	—
三合土基础	体积比 1∶2∶4～1∶3∶6（石灰∶砂∶骨料），每层约虚铺 220mm，夯至 150mm	1∶1.50	1∶2.00	—

注：1. p_k为荷载效应标准组合时基础底面处的平均压力值（kPa）；

2. 阶梯形毛石基础的每阶伸出宽度，不宜大于 200mm；

3. 当基础由不同材料叠合组成时，应对接触部分作抗压验算；

4. 基础底面处的平均压力值超过 300kPa 的混凝土基础，尚应进行抗剪验算。

上述几种刚性基础，除三合土基础不宜超过四层建筑以外，其他均可用于六层和六层以下的一般民用建筑和墙体承重的轻型厂房。

【要点】

◆ 无筋扩展基础采用刚性材料——砖、毛石、混凝土、毛石混凝土、灰土、三合土等；

◆ 无筋扩展基础的刚性角概念及常见基础材料的台阶高宽比允许值。

二、扩展基础

扩展基础系指柱下钢筋混凝土独立基础和墙下钢筋混凝土条形基础。

1. 扩展基础的构造，应符合下列规定：

（1）锥形基础的边缘高度不宜小于 200mm，且两个方向的坡度不宜大于 1∶3；阶梯形基础的每阶高度，宜为 300～500mm。

（2）垫层的厚度不宜小于 70mm；垫层混凝土强度等级不宜低于 C10。

（3）当有垫层时钢筋保护层的厚度不应小于 40mm；无垫层时不应小于 70mm。

（4）混凝土强度等级不应低于 C20。

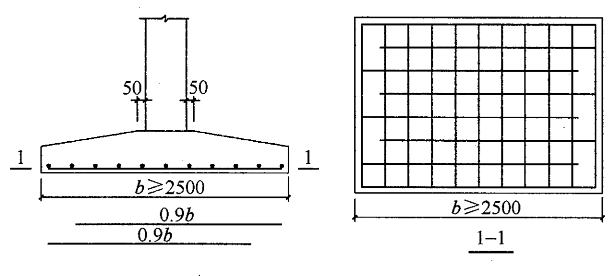


图 16-16　柱下独立基础底板受力钢筋布置

（5）当柱下钢筋混凝土独立基础的边长和墙下钢筋混凝土条形基础的宽度大于或等于 2.5m 时，底板受力钢筋的长度可取边长或宽度的 0.9 倍，并宜交错布置（图 16-16）。

（6）钢筋混凝土条形基础底板在 T 形及十字形交接处，底板横向受力钢筋仅沿一个主要受力方向通长布置，另一方向的横向受力钢筋可布置到主要受力方向底板宽度 1/4 处。在拐角处底板横向受力钢筋应沿两个方向布置（图 16-17）。

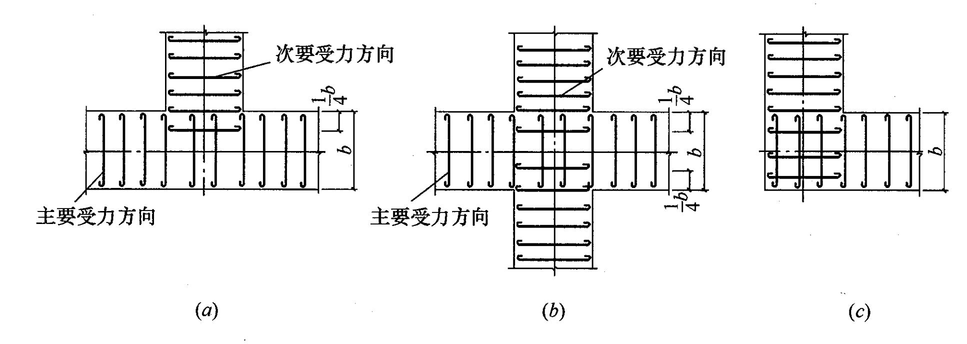


图 16-17　墙下条形基础纵横交叉处底板受力钢筋布置

2. 现浇柱的基础，其插筋的数量、直径以及钢筋种类应与柱内纵向受力钢筋相同，见图 16-18。

3. 扩展基础的计算应符合下列规定：

（1）对柱下独立基础，当冲切破坏椎体落在基础底面以内时，应验算柱与基础交接处以及基础变阶处的受冲切承载力；

（2）对基础底面短边尺寸小于或等于柱宽加两倍基础有效高度的柱下独立基础，以及墙下条形基础，应验算柱（墙）与基础交接处的基础受剪切承载力；

（3）基础底板的配筋，应按抗弯计算确定；

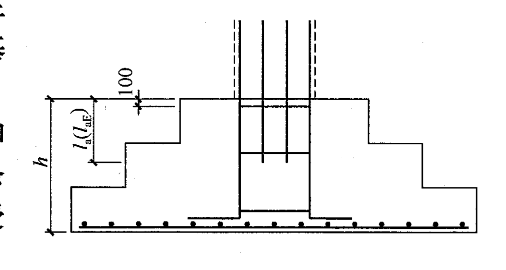


图 16-18　现浇柱的基础中插筋构造示意

（4）当基础的混凝土强度等级小于柱的混凝土强度等级时，尚应验算柱下基础顶面的局部受压承载力。

4. 柱下独立基础的受冲切承载力验算，见图 16-19。

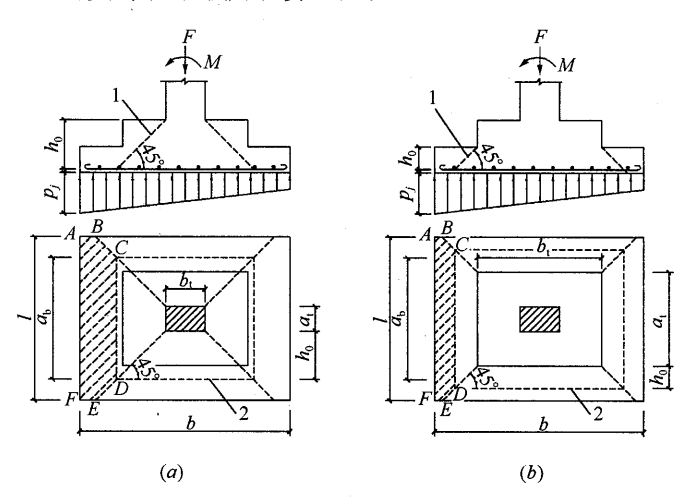


图 16-19 计算阶形基础的受冲切承载力截面位置

（a）柱与基础交接处；（b）基础变阶处

1—冲切破坏椎体最不利一侧的斜截面；2—冲切破坏椎体的底面线

例 16-18 （14-107）关于柱下独立基础之间设置的基础连系梁，下列说法正确的是：

A 加强基础的整体性，平衡柱底弯矩

B 为普通框架梁，参与结构整体抗震设计

C 等同于地基梁，按倒楼盖设计

D 连系梁上的荷载总是直接传递到地基

提示：基础连系梁不受地基反力作用，或者地基反力仅仅是由地下梁及其覆土的自重产生，不是由上部荷载的作用所产生。基础连系梁可加强基础的整体性，平衡柱底弯矩。

答案：A

三、柱下条形基础

1. 柱下条形基础的构造，除应满足本节二、第 1 条的要求外，尚应符合下列规定：

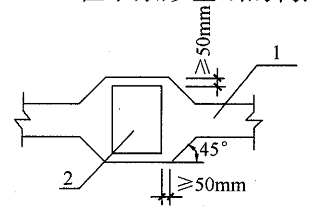


图 16-20 现浇柱与条形基础梁交接处平面尺寸

1—基础梁；2—柱

（1）柱下条形基础梁的高度宜为柱距的 1/4～1/8。翼板厚度不应小于 200mm。当翼板厚度大于 250mm 时，宜采用变厚度翼板，其顶面坡度宜小于或等于 1∶3。

（2）条形基础的端部宜向外伸出，其长度宜为第一跨距的 0.25 倍。

（3）现浇柱与条形基础梁的交接处，基础梁的平面尺寸应大于柱的平面尺寸，且柱的边缘至基础梁边缘的距离不得小于 50mm（图 16-20）。

（4）条形基础梁顶部和底部的纵向受力钢筋除满足计算要求外，顶部钢筋应按计算配筋全部贯通，底部通长钢筋不应少于底部受力钢筋截面总面积的1/3。

（5）柱下条形基础的混凝土强度等级，不应低于C20。

2. 柱下条形基础的计算，应满足抗弯、抗剪和抗冲切的要求以及其他规范规定。

四、高层建筑箱形和筏形基础

1. 一般规定

（1）箱形和筏形基础的地基应进行承载力和变形计算，必要时应验算地基的稳定性。

在确定高层建筑的基础埋置深度时，应考虑建筑物的高度、体型、地基土质、抗震设防烈度等因素，并应考虑抗倾覆和抗滑移的要求。

抗震设防区天然地质地基上的箱形和筏形基础，其埋深不宜小于建筑物高度的1/15；当桩与箱基底板或筏板固接时，桩箱或桩筏基础的埋置深度（不计桩长）不宜小于建筑高度的1/18。

（2）对单幢建筑物，在均匀地基的条件下，箱形和筏形基础的基底平面形心宜与结构竖向荷载重心重合。

（3）箱形基础的混凝土强度等级不应低于C20；筏形基础和桩箱、桩筏基础的混凝土强度等级不应低于C30。当有地下室时，应采用防水混凝土。防水混凝土的抗渗等级应按表16-13选用。对重要建筑，宜采用自防水并设置架空排水层。

防水混凝土抗渗等级 **表16-13**

埋置深度 d（m）	设计抗渗等级	埋置深度 d（m）	设计抗渗等级
$d<10$	P6	$20\leqslant d<30$	P10
$10\leqslant d<20$	P8	$30\leqslant d$	P12

2. 箱形基础

当地基软弱，建筑物荷载较大或上部结构荷载分布不均而对沉降要求甚为严格时，可以采用箱形基础。箱形基础是由底板、顶板、侧墙及一定数量的内隔墙构成的整体刚度较好的钢筋混凝土结构，所以它是高层建筑一种较好的基础类型。

由于箱形基础的整体刚度比较好，因此它调整不均匀沉降的能力及抗震能力比较强；且箱形基础有一定的埋深，可以充分利用地基的承载力，降低基底的附加压力，减少绝对沉降量；箱形基础的内部空间可以用作人防工程和设备用房。

高层建筑的箱形基础，一个十分重要的问题是防止箱形基础的整体倾斜。过大的整体倾斜不仅会造成人们心理的不安全感，而且危及建筑物安全。防止其整体倾斜的办法有：

一是，使上部结构的荷载重心尽量与基础底面的形心重合；二是，有一定的埋深，以保证建筑物的稳定性；三是，在选择建筑场地时，尽量选在地质条件比较均匀的地场。

箱形基础的设计要求：

（1）箱形基础的内、外墙应沿上部结构柱网和剪力墙纵横均匀布置；当上部结构为框架或框剪结构时，墙体水平截面总面积不宜小于箱基水平投影面积的1/12；基础平面长宽比大于4时，纵横水平截面面积不宜小于箱形基础水平投影面积的1/18。

（2）箱形基础的高度应满足结构承载力和刚度的要求，不宜小于箱形基础长度（不包括底板悬挑部分）的1/20，且不宜小于3m。

（3）高层建筑统一结构单元内，箱形基础的埋置深度宜一致，且不得局部采用箱形基础。

顶板、底板及内外墙的厚度和配筋，均应根据实际受力情况通过计算确定。

（4）箱形基础的底板厚度应根据受力情况、整体刚度及防水要求确定，底板厚度不应小于400mm，且板厚与最大双向板格的短边净跨之比不应小于1/14。底板处除应满足正截面受弯承载力的要求外，尚应满足受冲切承载力要求（图16-21）。

（5）箱形基础的底板应满足斜截面受剪承载力的要求。

（6）箱形基础的墙身厚度应根据实际受力情况、整体刚度及防水要求确定。外墙厚度不应小于250mm，内墙厚度不宜小于200mm。墙体内应设置双面钢筋。

（7）底层柱与箱形基础交接处，柱边和墙边或柱角和八字角之间的净距不宜小于50mm，并应验算底层柱下墙体的局部受压承载力；当不能满足时，应增加墙体的承压面积或采取其他有效措施。

3. 筏形基础

对基础刚度的要求稍低的建筑物，可以采用筏形基础；筏形基础对墙体数量、厚度、基础的整体性等要求不像箱形基础那样严格。

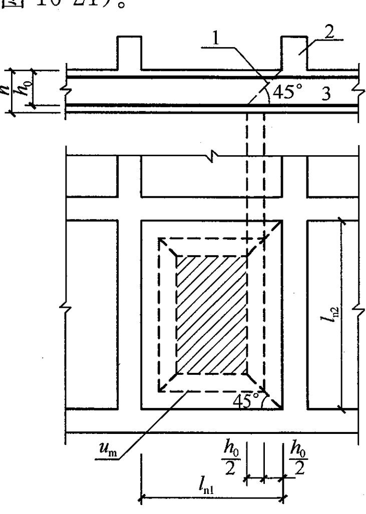


图16-21　底板的冲切计算示意

1—冲切破坏椎体的斜截面；2—梁；3—底板

筏形基础分为梁板式和平板式两种类型。首层的柱可以直通到底板；可以采用与底板连在一起的倒梁，而不一定要布置许多内隔墙，由此形成较大空间，可作为地下商场或停车场等。

平板式筏形基础，相当于无柱帽的无梁楼盖。当柱荷载较大时，特别是高层建筑柱，对筏形底板有冲切和剪切要求；筏板往往较厚。

（1）其选型应根据地基土质、上部结构体系、柱距、荷载大小、使用要求以及施工条件等因素确定。框架-核心筒结构和筒中筒结构宜采用平板式筏形基础。

（2）平板式筏基的板厚除应符合受弯承载力的要求外，尚应符合受冲切承载力的要求，验算时应计入作用在冲切临界截面重心上的不平衡弯矩所产生的附加剪力。筏板的最小厚度不应小于500mm。

（3）平板式筏基内筒下的板厚应满足受冲切承载力的要求。

（4）平板式筏基除应符合受冲切承载力的规定外，尚应验算距内筒和柱边缘h_0处截面的受剪承载力。

（5）梁板式筏基底板的厚度应符合受弯、受冲切和受剪切承载力的要求，且不应小于400mm；板厚与最大双向板格的短边净跨之比尚不应小于1/14，梁板式筏基梁的高跨比不宜小于1/6。

（6）梁板式筏基的基础梁除应满足正截面受弯承载力的要求外，尚应验算柱边缘处或梁柱连接面八字角边缘处基础梁斜截面受剪承载力。

（7）梁板式筏形基础梁和平板式筏形基础底板的顶面应符合底层柱下局部受压承载力的要求。对抗震设防烈度为9度的高层建筑，验算柱下基础梁、筏板局部受压承载力时，

应计入竖向地震作用对柱轴力的影响。

（8）地下室底层柱、剪力墙与梁板式筏基的基础梁连接的构造应符合下列规定：

1）柱、墙的边缘至基础梁边缘的距离不应小于 50mm（图 16-22）。

2）当交叉基础梁的宽度小于柱截面的边长时，交叉基础梁连接处宜设置八字角，柱角与八字角之间的净距不宜小于 50mm [图 16-22（a）]。

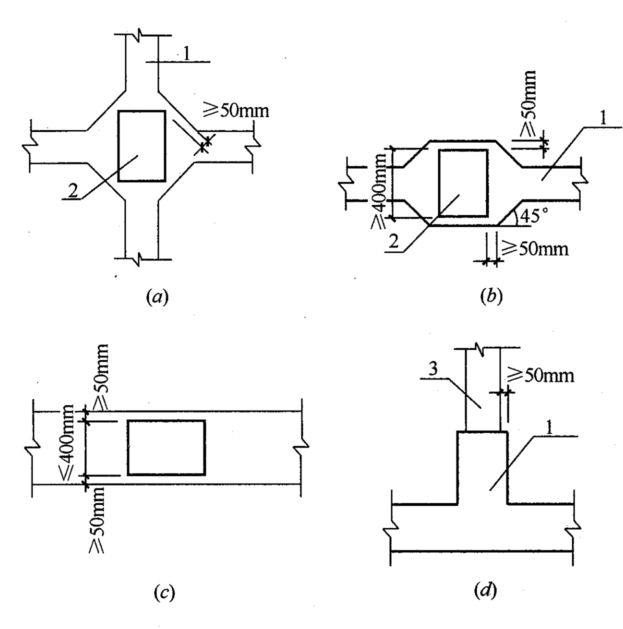


图 16-22　地下室底层柱或剪力墙与梁板式筏基的基础梁连接的构造要求

1—基础梁；2—柱；3—墙

3）单向基础梁与柱的连接，可按图 16-22（b），（c）采用。

4）基础梁与剪力墙连接，按图 16-22（d）采用。

（9）筏形基础地下室的外墙厚度不应小于 250mm，内墙厚度不宜小于 200mm。墙体内应设置双面钢筋。钢筋配置量除应满足承载力要求外，尚应考虑变形、抗裂及外墙防渗等要求。

（10）当地基土比较均匀、地基压缩层范围内无软弱土层或可液化土层，上部结构刚度较好，柱网和荷载较均匀、相邻柱荷载及柱间距的变化不超过 20%，且梁板式筏基梁的高跨比或平板式筏基板的厚跨比不小于 1/6 时，筏形基础可仅考虑局部弯曲作用，并扣除底板自重及其上填土的自重。

（11）梁板式筏基的底板和基础梁的配筋除应满足计算要求外，基础梁和底板的顶部跨中钢筋应按实际配筋全部连通，纵横方向的底部支座钢筋尚应有不少于 1/3 贯通全跨。底部上下贯通配筋的配筋率均不应小于 0.15%。

（12）考虑到整体弯曲的影响，筏板的柱下板带和跨中板带的底部钢筋应有 1/3 贯通全跨，顶部钢筋应按实际配筋全部连通，上下贯通配筋的配筋率均不应小于 0.15%。

（13）带裙房的高层建筑筏形基础与沉降缝和后浇带设置应符合下列要求：

1）当高层建筑与相连的裙房之间设置沉降缝时，高层建筑的基础埋深应大于裙房基础的埋深至少 2m。地面以下沉降缝的缝隙应用粗砂填实 [图 16-23（a）]。

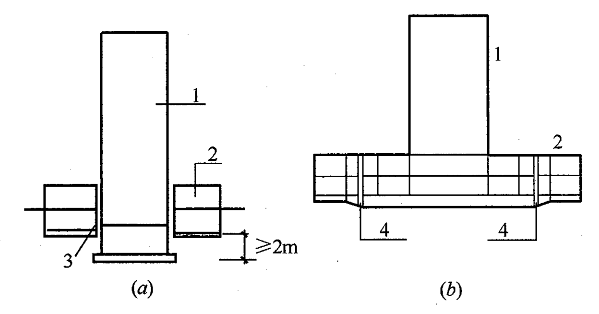


图 16-23　高层建筑与裙房间的沉降缝、后浇带处理示意

1—高层建筑；2—裙房及地下室；3—室外地坪以下用粗砂填实；4—后浇带

2）当高层建筑与相连的裙房之间不设置沉降缝时，宜在裙房一侧设置控制沉降差的后浇带。当沉降实测值和计算确定的后期沉降差满足设计要求后，方可进行后浇带混凝土浇筑。当高层建筑基础面积满足地基承载力和变形要求时，后浇带宜设在与高层建筑相邻裙房的第一跨内。当需要满足高层建筑地基承载力、降低高层建筑沉降量、减小高层建筑与裙房间的沉降差而增大高层建筑的基础面积时，后浇带可设在距主楼边柱的第二跨内。

3）当高层建筑与相连的裙房之间不设沉降缝和后浇带时，高层建筑及与其紧邻一跨裙房的筏板应采用相同厚度，裙房筏板的厚度宜从第二跨裙房开始逐渐变化，应同时满足主、裙楼基础整体性和基础板的变形要求，考虑地基与结构间变形的相互影响，并应采取有效措施防止产生有不利影响的差异沉降。

（14）筏形基础地下室施工完毕后，应及时进行基坑回填工作。回填基坑时，应先清除基坑中的杂物，并应在相对的两侧或四周同时回填并分层夯实。

4. 桩筏与桩箱基础

（1）当高层建筑箱形与筏形基础下的天然地基承载力或沉降值不能满足设计要求时，可采用桩筏或桩箱基础。

（2）当荷载较大，等厚度筏板的受冲切承载力不能满足要求时，可在筏板上增设柱墩或在筏板下局部增加板厚或在筏板内设置抗冲切钢筋提高受冲切承载力。

例 16-19 （11-110）某 15 层钢筋混凝土框架-抗震墙结构建筑，有两层地下室；采用梁板式筏形基础，下列设计中哪一项是错误的？

A 基础混凝土强度等级 C30

B 基础底板厚度 350mm

C 地下室外墙厚度 300mm

D 地下室内墙厚度 250mm

提示：梁板式筏形基础底板应计算正截面受弯承载力，其厚度尚应满足受冲切承载力、受剪切承载力的要求；且无论是双向板还是单向板，其板底厚度均不应小于 400mm（平板式筏基的最小板厚不应小于 500mm）；故 B 项“基础底板厚度 350mm”错误，为答案。

答案：B

规范：《地基基础规范》第 8.4.4 条、8.4.5 条、8.4.6 条、8.4.11 条及第 8.4.12 条第 2、4 款；《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ 6—2011 第 6.2.5 条、6.2.2 条。

例 16-20 （08-126）对一般建筑的梁板式筏基，筏板厚度受以下哪项影响最小？

A 正截面受弯承载力　　　　B 地基承载力

C 冲切承载力　　　　D 受剪承载力

提示：对一般建筑的梁板式筏基厚度都会受到题中选项的影响。规范规定：梁板式筏基底板除计算正截面受弯承载力外，其厚度还需考虑抗冲切承载力和抗剪切承载力的计算，相比之下地基承载力的影响最小。

答案： B

规范：《地基基础规范》第 8.4.11 条。

五、桩基础

桩基础是一种常用的基础形式，是深基础的一种。当天然地基上的浅基础承载力不能满足要求而沉降量又过大或地基稳定性不能满足建筑物规定时，常采用桩基础。

这是因为桩基础具有承载力高、沉降速率低、沉降量小而均匀等特点，能够承受垂直荷载、水平荷载、上拔力及由机器产生的振动或动力作用，因而应用广泛，尤其在高层建筑中应用更为普遍。

1. 桩的分类

（1）竖向受压桩按桩身竖向受力情况可分为端承型桩和摩擦型桩：

1）端承型桩的桩顶竖向荷载主要由桩端阻力承受（图 16-24）；

2）摩擦型桩的桩顶竖向荷载主要由桩侧阻力承受（图 16-25）。

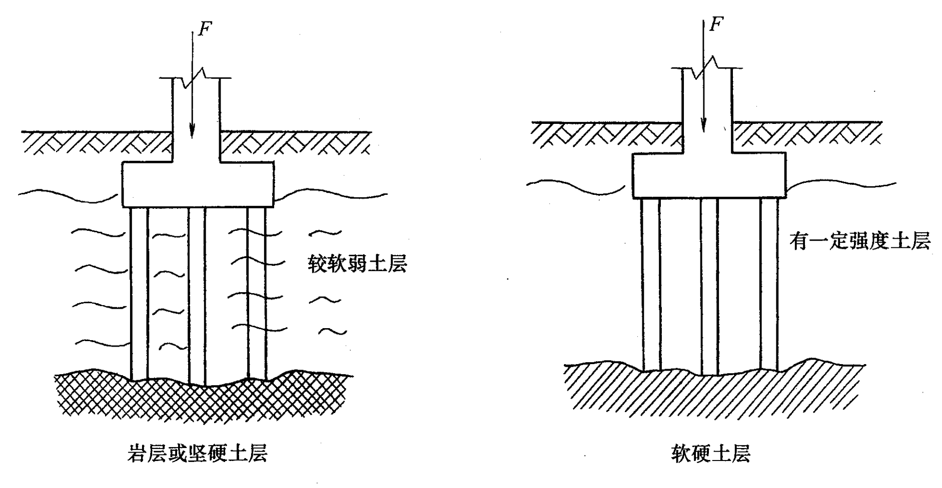


图 16-24　端承型桩　　图 16-25　摩擦型桩

（2）按施工工艺分为预制桩和灌注桩：

1）预制桩的种类，主要有钢筋混凝土桩和钢桩等多种。

预制桩的施工工艺包括制桩与沉桩两部分，沉桩工艺又根据沉桩机械的不同而有不同，主要有锤击式、静压式和振动式。

2）灌注桩的种类主要分为沉管灌注桩、钻孔灌注桩和挖孔灌注桩等几大类：

灌注桩是指在施工现场通过机械钻孔、钢管挤土或人力挖掘等手段，在地基土中形成桩孔，然后在孔内放置钢筋笼、灌注混凝土而做成的钢筋混凝土桩。

依成孔方法不同分为沉管灌注桩、钻孔灌注桩和挖孔灌注桩等。沉管灌注桩包括沉管、放笼、灌注、拔管四个步骤；钻孔灌注桩指各种在地面用机械方法挖土成孔的灌注桩；挖孔灌注桩指人工下到井底挖土护壁成孔的灌注桩。

【要点】钻孔桩的优点在于施工过程无挤土、无振动、噪声小，对邻近建筑物及地下管线危害较小，且桩径不受限制，是城区高层建筑常用桩型。近年来，钻孔灌注桩后压浆技术的逐步成熟和推广，拓展了钻孔灌注桩的使用空间。

2. 桩和桩基的构造应符合下列规定：

（1）摩擦型桩的中心距不宜小于桩身直径的3倍；扩底灌注桩的中心距不宜小于扩底直径的1.5倍，当扩底直径大于2m时，桩端净距不宜小于1m。在确定桩距时尚应考虑施工工艺中挤土等效应对邻近桩的影响。

（2）扩底灌注桩的扩底直径，不应大于桩身直径的3倍。

（3）桩底进入持力层的深度，宜为桩身直径的1～3倍。在确定桩底进入持力层深度时，尚应考虑特殊土、岩溶以及震陷液化等影响。嵌岩灌注桩周边嵌入完整和较完整的未风化、微风化、中风化硬质岩体的最小深度，不宜小于0.5m。

（4）布置桩位时宜使桩基承载力合力点与竖向永久荷载合力作用点重合。

（5）设计使用年限不少于50年时，非腐蚀环境中预制桩的混凝土强度等级不应低于C30；预应力桩不应低于C40，灌注桩不应低于C25。二b类环境及三类、四类、五类微腐蚀环境中不应低于C30。设计使用年限不少于100年的桩，桩身混凝土的强度等级宜适当提高。水下灌注混凝土的桩身混凝土强度等级不宜高于C40。

（6）桩身混凝土的材料、最小水泥用量、水灰比、抗渗等级等应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定。

（7）桩身纵向钢筋配筋长度应符合下列规定：

1）受水平荷载和弯矩较大的桩，配筋长度应通过计算确定；

2）桩基承台下存在淤泥、淤泥质土或液化土层时，配筋长度应穿过淤泥、淤泥质土层或液化土层；

3）坡地岸边的桩、8度及8度以上地震区的桩、抗拔桩、嵌岩端承桩应通长配筋；

4）钻孔灌注桩构造钢筋的长度不宜小于桩长的2/3；桩施工在基坑开挖前完成时，其钢筋长度不宜小于基坑深度的1.5倍。

（8）桩顶嵌入承台内的长度不应小于50mm。主筋伸入承台内的锚固长度不应小于钢筋直径（HPB300）的30倍和钢筋直径（HRB335和HRB400）的35倍。对于大直径灌注桩，当采用一柱一桩时，可设置承台或将桩和柱直接连接。桩和柱的连接可按《地基基础规范》第8.2.5条高杯口基础的要求选择截面尺寸和配筋，柱纵筋插入桩身的长度应满足锚固长度的要求。

（9）灌注桩主筋混凝土保护层厚度不应小于50mm；预制桩不应小于45mm，预应力管桩不应小于35mm；腐蚀环境中的灌注桩不应小于55mm。

（10）在承台及地下室周围的回填中，应满足填土密实性的要求。

例16-21 （08-128）下列关于桩和桩基础的说法，何项是不正确的？

A 桩底进入持力层的深度与地质条件及施工工艺等有关

B 桩顶应嵌入承台一定长度，主筋伸入承台长度应满足锚固要求

C 任何种类及长度的桩，其桩侧纵筋都必须沿桩身通长配置

D 在桩承台周围的回填土中，应满足填土密实性的要求

提示：坡地岸边的桩、8度及8度以上地震区的桩、抗拔桩、嵌岩端承桩应通长配筋，选项C中“任何种类及长度的桩……”表述错误，C为答案。

答案：C

规范：《地基基础规范》第 8.5.3 条第 3 款、第 8.5.3 条第 8 款 4)、第 8.5.3 条第 10 款，及 8.5.2 条第 12 款。

例 16-22 (14-108) 某框架结构四层公寓，无地下室，地面以下土层分布均匀，地下 10m 范围内为非液化粉土，地基承载力特征值为 200kPa。其下为坚硬的基岩，最适宜的基础形式是：

A 独立基础　　B 筏形基础

C 箱形基础　　D 桩基础

提示： 对四层框架结构，无地下室，土层分布均匀，地基承载力特征值较大，其下为坚硬的基岩，最适宜的基础形式是采用最简单经济的柱下独立基础，答案为 A。

答案： A

3. 单桩承载力计算

同其他结构构件设计一样，桩基础作为承托上部结构的基础，必须具有足够的承载力和抗沉降变形能力，桩和承台必须具有足够的强度、刚度和稳定性。

单桩承载力应符合下列规定：

1) 轴心竖向力作用下：

$$Q_k = (F_k + G_k)/n \tag{16-19}$$

2) 轴心竖向力作用下除满足上式外，尚应满足下式要求：

$$Q_k \leqslant R_a \tag{16-20}$$

3) 水平荷载作用下，尚应满足下式要求：

$$H_{ik} \leqslant R_{Ha} \tag{16-21}$$

式中 Q_k——相应于作用的标准组合时，轴心竖向力作用下任一单桩的竖向力 (kN)；

H_{ik}——相应于作用的标准组合时，作用于任一单桩的水平力 (kN)；

F_k——相应于作用的标准组合时，作用于桩基承台顶面的竖向力 (kN)；

G_k——桩基承台自重及承台上土自重标准值 (kN)；

R_a、R_{Ha}——单桩竖向、水平承载力特征值 (kN)；

n——桩基中的桩数。

4. 单桩竖向承载力特征值的确定应符合下列规定：

对于重要的或用桩量很大的工程，应按《地基基础规范》的规定通过一定数量的单桩竖向承载力特征值静载荷试验确定单桩竖向承载力，作为设计依据。在同一条件下的试桩数量，不宜少于总桩数的 1%且不应少于 3 根。

5. 桩身混凝土强度应满足桩的承载力设计要求。

6. 桩基沉降计算应符合下列规定：

(1) 对以下建筑物的桩基应进行沉降验算：

1) 地基基础设计等级为甲级的建筑物桩基；

2) 体形复杂、荷载不均匀或桩端以下存在软弱土层的设计等级为乙级的建筑物桩基；

3) 摩擦型桩基。

(2) 桩基沉降不得超过建筑物的沉降允许值，并应符合《地基基础规范》的相应规定。

7. 嵌岩桩、设计等级为丙级的建筑物桩基、对沉降无特殊要求的条形基础下不超过两排桩的桩基、吊车工作级别 A5 及 A5 以下的单层工业厂房且桩端下为密实土层的桩基，可不进行沉降验算。当有可靠地区经验时，对地质条件不复杂、荷载均匀、对沉降无特殊要求的端承型桩基也可不进行沉降验算。

8. 桩基承台的构造，除满足受冲切、受剪切、受弯承载力和上部结构的要求外，尚应符合下列要求：

(1) 承台的宽度不应小于 500mm。边桩中心至承台边缘的距离不宜小于桩的直径或边长，且桩的外边缘到承台边缘的距离不小于 150mm。对于条形承台梁，桩的外边缘到承台梁边缘的距离不小于 75mm。

(2) 承台的最小厚度不应小于 300mm。

(3) 承台的配筋，对于矩形承台，其钢筋应按双向均匀通长布置[图 16-26(a)]，钢筋直径不宜小于 10mm，间距不宜大于 200mm；对于三桩承台，钢筋应按三向板带均匀布置，且最里面的三根钢筋围成的三角形应在柱截面范围内[图 16-26(b)]。承台梁的主筋除满足计算要求外，尚应符合现行《混凝土结构设计规范》关于最小配筋率的规定，主筋直径不宜小于 12mm，架立筋不宜小于 10mm，箍筋直径不宜小于 6mm[图 16-26(c)]。

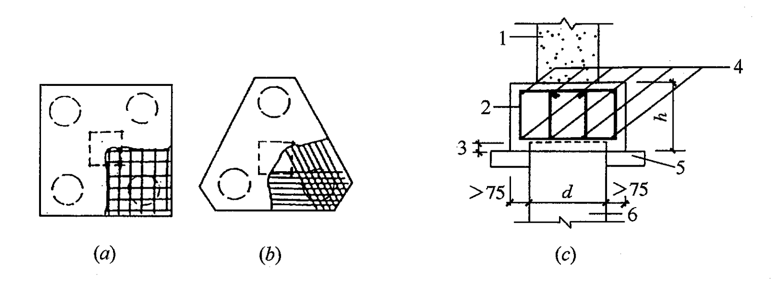


图 16-26　承台配筋示意

(a) 矩形承台配筋；(b) 三桩承台配筋；(c) 承台梁配筋

1—墙；2—箍筋直径≥6mm；3—桩顶入承台≥50mm；4—承台梁内主筋除须计算配筋外尚应满足最小配筋率；5—垫层 100mm 厚 C10 混凝土；6—桩

(4) 承台混凝土强度等级不应低于 C20；纵向钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 70mm；当有混凝土垫层时，不应小于 50mm，且不应小于桩头嵌入承台内的长度。

9. 柱下承台应满足弯矩承载力、抗冲切承载力、斜截面抗剪承载力要求。

(1) 受弯承载力

柱下桩基承台的弯矩设计值可按下列规定计算：

多桩矩形承台计算截面取在柱边和承台高度变化处(杯口外侧或台阶边缘，图 16-27)，弯矩可按下列公式计算：




$$M_x = \Sigma N_i y_i \qquad (16\text{-}22)$$

$$M_y = \Sigma N_i x_i \qquad (16\text{-}23)$$

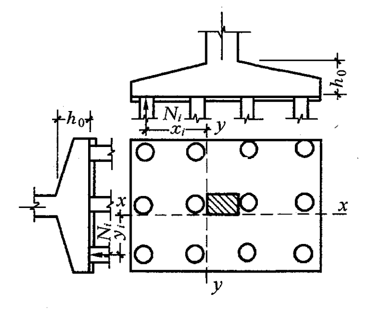


图 16-27　承台弯矩计算

式中　M_x、M_y——分别为垂直于 y 轴和 x 轴方向计算截面处的弯矩设计值（kN·m）；

x_i、y_i——垂直 y 轴和 x 轴方向自桩轴线到相应计算截面的距离（m）；

N_i——扣除承台和其上填土自重后相应于作用的基本组合时的第 i 桩竖向力设计值（kN）。

（2）受冲切承载力

1）桩基承台厚度应满足柱（墙）对承台的冲切和桩基对承台的冲切承载力要求；

2）轴心竖向力作用下桩基承台受柱的冲切（图 16-28），可按规定计算；

3）对于箱形、筏形承台，可按规定计算承台内部桩基的冲切承载力。

（3）斜截面受剪承载力（图 16-29）

柱下桩基础独立承台应分别对柱边和桩边、变阶处和桩边连线形成的斜截面进行受剪承载力验算。当柱边外有多排桩形成多个剪切斜截面时，尚应对每个斜截面的受剪承载力进行验算。

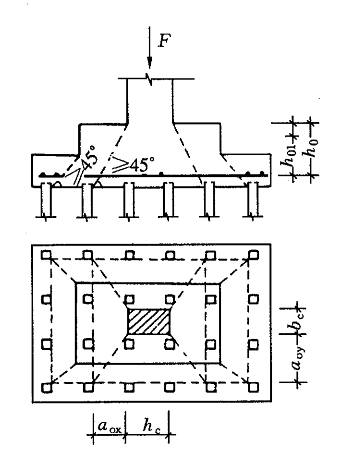


图 16-28　柱对承台的冲切

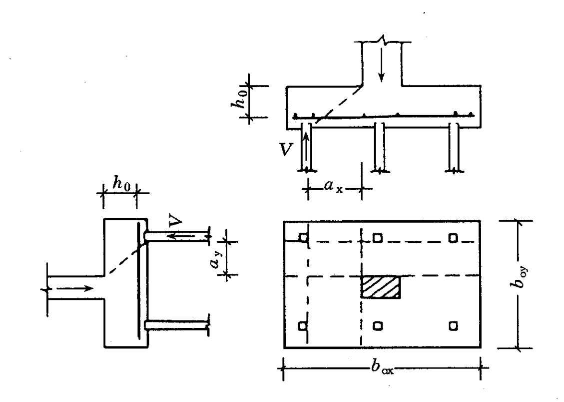


图 16-29　承台斜截面受剪计算

（4）局部受压承载力

当承台的混凝土强度等级低于柱或桩的混凝土强度等级时，尚应验算柱下或桩上承台的局部受压承载力。

（5）抗震验算

当进行承台的抗震验算时，应根据现行国家标准《抗震规范》的规定对承台顶面的地震作用效应和承台的受弯、受冲切、受剪承载力进行抗震调整。

10. 承台之间的连接应符合下列要求：

（1）单桩承台，宜在两个互相垂直的方向上设置连系梁。

（2）两桩承台，宜在其短向设置连系梁。

（3）有抗震要求的柱下独立承台，宜在两个主轴方向设置连系梁。

（4）连系梁顶面宜与承台位于同一标高。连系梁的宽度不应小于 250mm，梁的高度可取承台中心距的 1/10～1/15，且不小于 400mm。

（5）连系梁的主筋应按计算要求确定。连系梁内上下纵向钢筋直径不应小于 12mm 且不应少于 2 根，并应按受拉要求锚入承台。

例 16-23 （13-112）某一桩基础，已知由承台传来的全部轴心竖向标准值为5000kN，单桩竖向承载力特征值 R_a 为 1000kN，则该桩基础应布置的最少桩数为：

A 4　　B 5　　C 6　　D 7

提示：单桩承载力在轴心竖向力作用下应满足：

$$Q_k = (F_k + G_k)/n \quad Q_k \leqslant R_a$$

由 R_a=1000kN，则任一单桩可承受的最大竖向力 Q_k 取 1000kN，该桩基础应布置的桩数 n 最少应为：

$$n \geqslant (F_k + G_k)/Q_k = 5000/1000 = 5$$

答案：B

规范：《地基基础规范》第 8.5.4 条第 1 款、第 8.5.5 条第 1 款；《建筑桩基技术规范》JGJ 94 第 5.1.1 条第 1）款式 5.1.1-1、第 5.2.1 条式 5.2.1-1。

例 16-24 （08-130）关于建筑物桩基的沉降验算，以下说法不正确的是：

A 嵌岩桩可不进行沉降验算

B 当有可靠经验时，对地质条件不复杂、荷载均匀、对沉降无特殊要求的端承型桩基可不进行沉降验算

C 摩擦型桩基可不进行沉降验算

D 地基基础设计等级为甲级的建筑物桩基必须进行沉降验算

提示：需要进行桩基沉降验算的桩基有以下几种：

1. 地基基础设计等级为甲级的（D 正确）；

2. 体型复杂、荷载不均匀或桩端以下存在软弱土层的设计等级为乙级的；

3. 摩擦型桩基；摩擦型桩基是靠桩与土体的摩擦力把荷载传布给桩周土体。如果沉降过大，会减小摩擦力，影响荷载传递，所以需要进行沉降验算（C 错误）。

答案：C

规范：《地基基础规范》第 8.5.13 条、8.5.14 条。

六、高层建筑的基础设计

（一）高层建筑的基础设计，应考虑下列要求：

1. 基底压力不超过地基承载力或桩基承载力；不产生过大变形，更不能产生塑性流动。

2. 基础的总沉降量和差异沉降应在许可范围内。高层建筑结构是整体的空间结构，刚度较大，差异沉降产生的影响更为显著，尤其对主楼和裙房的基础设计要更加注意。

3. 基础底板、侧墙和沉降缝的构造，都应满足地下室防水的要求。

4. 在邻近已有建筑物时，进行基础施工，应采取有效措施防止对毗邻房屋产生影响，防止施工中因土体扰动使已建房屋下沉、倾斜和开裂。

5. 基础选型时要综合考虑安全可靠、技术先进、经济合理、使用要求和施工条件等因素。

（二）基础选型和埋置深度

1. 基础选型主要考虑的因素

(1) 上部结构的层数、高度和结构类型。主楼的层数多、荷载大，宜采用整体式基础或桩基；裙房部分则采用交叉梁式基础，或单独基础。

(2) 地基土质条件。地基土质均匀、承载力高、沉降量小时，可采用天然地基，采用刚度较小的基础；反之，则要求采用刚性整体式基础，甚至采用桩基。

(3) 抗震设计的要求。抗震设计时，对基础的整体性、埋深、稳定性以及地基的液化等，都有更高的要求。

(4) 施工条件和场地环境。施工技术水平、机械设备也是选择基础形式时需要考虑的因素；地下水位的高低也对基础选型有直接影响。

一般说来，应优先采用有利于高层建筑整体稳定、刚度较大能抵抗差异沉降，底面积较大有利于分散土压力的整体式基础，如：箱基和筏基。在层数较少的情况下或在裙房部分，可采用交叉梁式基础。

单独基础和条形基础整体性差、刚度小，难以调整各部分差异沉降，除非基础直接支承在微风化或未风化岩层上，一般不宜在高层建筑中采用。在裙房中采用时，必须在单独桩基的两个方向上加拉梁。

当地下室可以设置较多钢筋混凝土墙体时，宜按箱基进行设计；当地下室作为车库、商店等需要有较大空间时，则只能按筏形基础设计。

当采用桩基时，宜尽量采用大直径桩，使上部荷载直接由柱、墙传给桩顶，这样可使基础底板受力减小，减小板的厚度，因此可节省大量钢筋和水泥。

2. 基础的埋置深度

(1) 保证高层建筑在风力和地震力作用下的稳定性，防止建筑物产生滑移和倾覆。

(2) 增加埋深可以提高地基承载力，减少建筑物的沉降。

(3) 设置多层地下室有利于建筑物抗震。

1) 7～9度，天然地基时，基础埋置深度不宜小于建筑物高度的1/15；采用桩基时，不宜小于1/18。桩基的埋深指承台底标高，桩长不计在内。

2) 6度时可适当减小。

基础放在基岩上时，可不考虑埋深的要求，但要有可靠的锚固措施。

例16-25 (14-113) 某带裙房的高层建筑筏形基础，主楼与裙房之间设置沉降后浇带，该后浇带封闭时间至少应在：

A 主楼基础施工完毕之后两个月

B 裙房基础施工完毕之后两个月

C 主楼与裙房基础均施工完毕之后两个月

D 主楼与裙房结构均施工完毕之后

提示： 当高层建筑与相连的裙房之间不设置沉降缝时，宜在裙房一侧设置用于控制沉降差的后浇带。当沉降实测值和计算确定的后期沉降差满足设计要求后，方可进行后浇带混凝土浇筑。一般在主体结构施工完之后，沉降基本完成。

答案： D

规范：《地基基础规范》第8.4.20条第2款。

习　　题

16-1 为增强整体刚度，在软弱地基上的多层砌体房屋，其长高比（房屋长度与高度之比）宜小于或等于（　　）。

A 3　　　　B 2

C 2.5　　　　D 1.5

16-2 以下有关在现浇钢筋混凝土结构中设置后浇带的叙述，何者是不适宜的?（　　）

A 在大面积筏形基础中，每隔20～40m留一道后浇带，可以减少混凝土硬化过程中的收缩应力

B 高层主楼与裙房之间，在施工阶段设置后浇带有适应调整两者之间的沉降差的作用

C 长宽很大的上部结构每隔30～40m设置施工后浇带，是为了减少混凝土硬化过程中的收缩应力

D 大面积基础的后浇带和上部结构的后浇带均可以在混凝土浇筑完成10天后将其填灌

16-3 地基土的冻胀性类别可分为：不冻胀，弱冻胀，冻胀和强冻胀四类，碎石土属于（　　）。

A 不冻胀　　　　B 弱冻胀

C 冻胀　　　　D 按冻结期间的地下水位而定

16-4 以下关于在寒冷地区考虑冻土地基的基础埋置深度的叙述，哪些是正确的?（　　）

Ⅰ 对各类地基土，均须将基础埋置在冻深以下

Ⅱ 地基土天然含水量小且冻结期间地下水位低于冻深大于2m时，均可不考虑冻胀的影响

Ⅲ 黏性土可不考虑冻胀对基础埋置深度的影响

Ⅳ 碎石土、细砂土可不考虑冻胀对基础埋置深度的影响

A Ⅰ　　　　B Ⅱ、Ⅲ

C Ⅲ　　　　D Ⅱ、Ⅳ

16-5 预估一般建筑物在施工期间和使用期间地基变形值之比时，可以认为砂土地基上的比黏性土地基上的（　　）。

A 大　　　　B 小

C 按砂土的密实度而定　　　　D 按黏性土的压缩性而定

16-6 两个埋深和底面压力均相同的单独基础，在相同的非岩石类地基土情况下，基础面积大的沉降量比基础面积小的要（　　）。

A 大　　　　B 小

C 相等　　　　D 按不同的土类别而定

16-7 对于砂土地基上的一般建筑，其在施工期间完成的沉降量为（　　）。

A 已基本完成其最终沉降量

B 已完成其最终沉降量的50%～80%

C 已完成其最终沉降量的20%～50%

D 只完成其最终沉降量的20%以下

16-8 刚性砖基础的台阶宽高比最大允许值为（　　）。

A 1∶0.5　　　　B 1∶1.0

C 1∶1.5　　　　D 1∶2.0

16-9 在设计柱下条形基础的基础梁最小宽度时，下列何者是正确的?（　　）

A 梁宽应大于柱截面的相应尺寸

B 梁宽应等于柱截面的相应尺寸

C 梁宽应大于柱截面宽高尺寸中的小值

D 由基础梁截面强度计算确定

16-10 桩基础用的桩，按其受力情况可分为摩擦桩和端承桩两种，摩擦桩是指（　　）。

A　桩上的荷载全部由桩侧摩擦力承受

B　桩上的荷载由桩侧摩擦力和桩端阻力共同承受

C　桩端为锥形的预制桩

D　不要求清除桩端虚土的灌注桩

16-11 安全等级为一级的建筑物采用桩基时，单桩的承载力特征值，应通过现场静荷载试验确定。根据下列何者决定同一条件的试桩数量是正确的？（　　）

A　总桩数的 0.5%　　B　应不少于 2 根，并不宜少于总桩数的 0.5%

C　总桩数的 1%　　D　应不少于 3 根，并不宜少于总桩数的 1%

16-12 确定房屋沉降缝的宽度应根据（　　）。

A　房屋的高度或层数　　B　结构类型

C　地基土的压缩性　　D　基础形式

16-13 在冻土地基上的不采暖房屋，其基础的最小埋深，当土的冻胀性类别为强冻胀土时，应为（　　）。

A　深于冰冻深度　　B　等于冰冻深度

C　浅于冰冻深度　　D　与冰冻深度无关

16-14 利用压实填土作地基时，下列各种土中哪种是不能使用的？（　　）

A　黏土　　B　淤泥

C　粉土　　D　碎石

16-15 除岩石地基外，基底地基承载力特征值与下列各因素中的哪几项有关？（　　）

Ⅰ　地基承载力特征值　　Ⅱ　基础宽度

Ⅲ　基础埋深　　Ⅳ　地基土的重度

A　Ⅰ、Ⅳ　　B　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

C　Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ　　D　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

16-16 考虑地基变形时，对于砌体承重结构，应由下列地基变形特征中的哪一种来控制？（　　）

A　沉降量　　B　沉降差

C　倾斜　　D　局部倾斜

16-17 对山区（包括丘陵地带）地基的设计，下列各因素中哪一种是应予考虑的主要因素？（　　）

A　淤泥层的厚度

B　熔岩、土洞的发育程度

C　桩类型的选择

D　深埋软弱下卧层的压缩

16-18 下面关于一般基础埋置深度的叙述，哪一项是不适当的？（　　）

A　应根据工程地质和水文地质条件确定

B　埋深应满足地基稳定和变形的要求

C　应考虑冻涨的影响

D　任何情况下埋深不能小于 2.5m

16-19 刚性矩形基础如图示。为使基础底面不出现拉力，则偏心距 $e=M/N$ 必须满足（　　）。

A　$e \leqslant b/3$　　B　$e \leqslant b/4$

C　$e \leqslant b/5$　　D　$e \leqslant b/6$

题 16-20 图

16-20 墙体下的刚性条形混凝土（C10）基础如图示。当基础厚度为 H 时，则台阶宽度 b 的最大尺寸为（　　）。

A　不作限制　　　　B　0.5H

C　1.0H　　　　D　2.0H

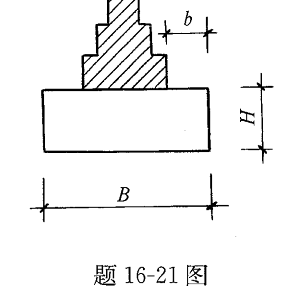
16-21　下面关于高层建筑箱形基础的叙述，哪一项是不正确的？（　　）

A　设置了地下室的高层建筑，该地下室就成为它的箱形基础

B　箱形基础基底下面形心宜与结构竖向长期荷载重心相重合

C　箱形基础的高度应满足结构承载力和刚度需要

D　箱形基础的底板厚度应根据受力情况、整体刚度和防水要求确定



题 16-21 图

16-22　下列关于桩的承载力的叙述，其中哪一项是不恰当的？（　　）

A　对于一级建筑物，桩的竖向承载力应通过荷载试验来确定

B　桩没有抗拔能力

C　配子纵向钢筋的桩有一定的抗弯能力

D　桩的承载力与其截面的大小有关

16-23　某工程采用400mm×400mm、长26m（有一个接头）的钢筋混凝土预制方桩。设计中采取了下列设计参数，其中哪些项不符合规范要求？（　　）

Ⅰ　混凝土强度等级为C15　　　　Ⅱ　桩中心距0.8m

Ⅲ　桩端进入硬黏土层1.2m　　　　Ⅳ　配筋率1.0%

A　Ⅰ、Ⅱ　　　　B　Ⅲ、Ⅳ

C　Ⅰ、Ⅲ　　　　D　Ⅱ、Ⅳ

16-24　有抗震要求的某多层房屋（无地下室），采用单桩支承独立柱。下列关于桩承台之间构造连系的要求，哪项是正确的？（　　）

A　应用厚板把各承台连接成一整体

B　承台间可不作任何联系

C　各承台均应有一个方向的连系梁

D　各承台均应有两个方向的连系梁

16-25　下列关于桩承台构造方面的叙述，哪项是不正确的？（　　）

A　混凝土强度等级不应低于C20

B　桩嵌入承台的深度不应小于300mm

C　桩的纵向钢筋应锚入承台内

D　方形四桩承台底部钢筋应双向布置

参　考　答　案

16-1　C　［提示］　根据《地基基础规范》第7.4.3条第1款，为了增强整体刚度，对于三层或三层以上的多层砌体房屋的长高比，宜小于或等于2.5。

16-2　D　［提示］　在高层建筑与裙房之间，为了建筑立面处理方便以及地下室防水要求，可以不设沉降缝而采用后浇带，但后浇带原则上应在高层部分主体结构完工，沉降基本稳定后灌缝。

16-3　A　［提示］　根据《地基基础规范》附录G表G.0.1，碎石土属于不冻胀类土。

16-4　D　［提示］　根据《地基基础规范》附录G表G.0.1，碎石土、细砂土可不考虑冻胀对基础埋置深度的影响，并且，当地基土天然含水量小（表G.0.1对各类土天然含水量有具体规定），只要冻结期间地下水位低于冻深大于2m时，不论是粉砂、粉土或黏性土，均可不考虑冻胀的影响。综上所述，题中给出的第Ⅱ、Ⅳ项叙述是正确的。

16-5　A　［提示］　根据工程实践经验，一般建筑物在施工期内的沉降量，对于砂土可认为其最终沉降量已基本完成，对于低压缩性黏性土可认为已完成最终沉降量的50%～80%，对于中压缩性黏性土可认为已

完成 20%～50%，对于高压缩性黏性土可认为已完成 5%～20%，未完成的沉降量在建筑物建成后继续沉降。因此，一般建筑物在施工期间和使用期间地基变形之比值，砂土地基的比黏性土地基的大。

16-6　A　［提示］　两个埋深相同、底面土反力相同的单独基础，如基础下为非岩石类地基，则基础底面积大的压缩土层厚度大，因此沉降量大。

16-7　A　［提示］　同题 16-6 的叙述。

16-8　C　［提示］　根据《地基基础规范》第 8.1.1 条表 8.1.1，刚性砖基础台阶宽高比最大允许值为 1∶1.5。

16-9　D　［提示］　设计时，柱下条形基础梁宽度一般比柱宽每侧宽 50mm。但当柱宽度大于 400mm（特别是当柱截面更大）时，梁宽如仍每侧比柱宽 50mm，将不经济且无必要，此时，梁宽可不一定取大于柱宽，可在柱附近做成八字形过渡，由基础梁截面强度计算确定。

16-10　B　［提示］　根据《地基基础规范》第 8.5.1 条，摩擦桩是指桩上的荷载由桩侧摩擦力和桩端阻力共同承受。

16-11　D　［提示］　根据《地基基础规范》第 8.5.6 条，对于一级建筑物，单桩的竖向承载力特征值，应通过现场静荷载试验确定。在同一条件下的试桩数量，不宜少于总桩数的 1%，并不应少于 3 根。

16-12　A　［提示］　根据《地基基础规范》第 7.3.2 条表 7.3.2，房屋沉降缝的宽度应根据房屋层数确定，而房屋的高度一般随层数增加而增加，因此，也可以认为，房屋沉降缝的宽度根据房屋的高度或层数确定。

16-13　C　［提示］　根据《地基基础规范》第 5.1.8 条，对于埋置在强冻胀土中的基础，其最小埋深按下式计算：

$$d_{\min} = Z_{\mathrm{d}} - h_{\max}$$

式中　$h_{\max}$——基础底面下允许残留冻土层的最大厚度，按本规范附录 G.0.2 查取；

Z_{d}——设计冻深。故基础最小埋深可浅于冰冻深度。

16-14　B　　16-15　D　　16-16　D　　16-17　B　　16-18　D　　16-19　D

16-20　C　　16-21　A　　16-22　B　　16-23　A　　16-24　D　　16-25　B

附录1 全国一级注册建筑师资格考试大纲

一、设计前期与场地设计（知识题）

1.1 场地选择

能根据项目建议书，了解规划及市政部门的要求。收集和分析必需的设计基础资料，从技术、经济、社会、文化、环境保护等各方面对场地开发做出比较和评价。

1.2 建筑策划

能根据项目建议书及设计基础资料，提出项目构成及总体构想，包括：项目构成、空间关系、使用方式、环境保护、结构选型、设备系统、建筑规模、经济分析、工程投资、建设周期等，为进一步发展设计提供依据。

1.3 场地设计

理解场地的地形、地貌、气象、地质、交通情况、周围建筑及空间特征，解决好建筑物布置、道路交通、停车场、广场、竖向设计、管线及绿化布置，并符合法规规范。

二、建筑设计（知识题）

2.1 系统掌握建筑设计的各项基础理论、公共和居住建筑设计原理；掌握建筑类别等级的划分及各阶段的设计深度要求；掌握技术经济综合评价标准；理解建筑与室内外环境、建筑与技术、建筑与人的行为方式的关系。

2.2 了解中外建筑历史的发展规律与发展趋势；了解中外各个历史时期的古代建筑与园林的主要特征和技术成就；了解现代建筑的发展过程、理论、主要代表人物及其作品；了解历史文化遗产保护的基本原则。

2.3 了解城市规划、城市设计、居住区规划、环境景观及可持续发展建筑设计的基础理论和设计知识。

2.4 掌握各类建筑设计的标准、规范和法规。

三、建筑结构

3.1 对结构力学有基本了解，对常见荷载、常见建筑结构形式的受力特点有清晰概念，能定性识别杆系结构在不同荷载下的内力图、变形形式及简单计算。

3.2 了解混凝土结构、钢结构、砌体结构、木结构等结构的力学性能、使用范围、主要构造及结构概念设计。

3.3 了解多层、高层及大跨度建筑结构选型的基本知识、结构概念设计；了解抗震设计的基本知识，以及各类结构形式在不同抗震烈度下的使用范围；了解天然地基和人工地基的类型及选择的基本原则；了解一般建筑物、构筑物的构件设计与计算。

四、建筑物理与建筑设备

4.1 了解建筑热工的基本原理和建筑围护结构的节能设计原则；掌握建筑围护结构的保温、隔热、防潮的设计，以及日照、遮阳、自然通风方面的设计。

4.2 了解建筑采光和照明的基本原理，掌握采光设计标准与计算；了解室内外环境照明对光和色的控制；了解采光和照明节能的一般原则和措施。

4.3 了解建筑声学的基本原理；了解城市环境噪声与建筑室内噪声允许标准；了解建筑隔声设计与吸声材料和构造的选用原则；了解建筑设备噪声与振动控制的一般原则；了解室内音质评价的主要指

标及音质设计的基本原则。

4.4 了解冷水储存、加压及分配，热水加热方式及供应系统；了解建筑给排水系统水污染的防治及抗震措施；了解消防给水与自动灭火系统、污水系统及透气系统、雨水系统和建筑节水的基本知识以及设计的主要规定和要求。

4.5 了解采暖的热源、热媒及系统，空调冷热源及水系统；了解机房（锅炉房、制冷机房、空调机房）及主要设备的空间要求；了解通风系统、空调系统及其控制；了解建筑设计与暖通、空调系统运行节能的关系及高层建筑防火排烟；了解燃气种类及安全措施。

4.6 了解电力供配电方式，室内外电气配线，电气系统的安全防护，供配电设备，电气照明设计及节能，以及建筑防雷的基本知识；了解通信、广播、扩声、呼叫、有线电视、安全防范系统、火灾自动报警系统，以及建筑设备自控、计算机网络与综合布线方面的基本知识。

五、建筑材料与构造

5.1 了解建筑材料的基本分类：了解常用材料（含新型建材）的物理化学性能、材料规格、使用范围及其检验、检测方法；了解绿色建材的性能及评价标准。

5.2 掌握一般建筑构造的原理与方法，能正确选用材料，合理解决其构造与连接；了解建筑新技术、新材料的构造节点及其对工艺技术精度的要求。

六、建筑经济、施工与设计业务管理

6.1 了解基本建设费用的组成；了解工程项目概、预算内容及编制方法；了解一般建筑工程的技术经济指标和土建工程分部分项单价；了解建筑材料的价格信息，能估算一般建筑工程的单方造价；了解一般建设项目的主要经济指标及经济评价方法；熟悉建筑面积的计算规则。

6.2 了解砌体工程、混凝土结构工程、防水工程、建筑装饰装修工程、建筑地面工程的施工质量验收规范基本知识。

6.3 了解与工程勘察设计有关的法律、行政法规和部门规章的基本精神；熟悉注册建筑师考试、注册、执业、继续教育及注册建筑师权利与义务等方面的规定；了解设计业务招标投标、承包发包及签订设计合同等市场行为方面的规定；熟悉设计文件编制的原则、依据、程序、质量和深度要求；熟悉修改设计文件等方面的规定；熟悉执行工程建设标准，特别是强制性标准管理方面的规定；了解城市规划管理、房地产开发程序和建设工程监理的有关规定；了解对工程建设中各种违法、违纪行为的处罚规定。

七、建筑方案设计（作图题）

检验应试者的建筑方案设计构思能力和实践能力，对试题能做出符合要求的答案，包括：总平面布置、平面功能组合、合理的空间构成等，并符合法规规范。

八、建筑技术设计（作图题）

检验应试者在建筑技术方面的实践能力，对试题能做出符合要求的答案，包括：建筑剖面、结构选型与布置、机电设备及管道系统、建筑配件与构造等，并符合法规规范。

九、场地设计（作图题）

检验应试者场地设计的综合设计与实践能力，包括：场地分析、竖向设计、管道综合、停车场、道路、广场、绿化布置等，并符合法规规范。

全国一级注册建筑师资格考试各科目考试题型及时间表

序号	科　目	考试题型	考试时间（小时）
一	设计前期与场地设计	单选	2.0
二	建筑设计	单选	3.5

续表

序号	科　　目	考试题型	考试时间（小时）
三	建筑结构	单选	4.0
四	建筑物理与建筑设备	单选	2.5
五	建筑材料与构造	单选	2.5
六	建筑经济、施工与设计业务管理	单选	2.0
七	建筑方案设计	作图	6.0
八	建筑技术设计	作图	6.0
九	场地设计	作图	3.5
合　　计			31.0

说明：注建［2008］1号文件更改建筑技术设计科目考试时间为6.0小时。

附录2　全国一级注册建筑师资格考试规范、标准及主要参考书目

一、设计前期与场地设计（知识题）

1. 中国建设项目环境保护设计规定（87），国环字第002号
2. 民用建筑设计通则 JGJ 37—87
3. 城市居住区规划设计规范 GB 50180—93
4. 城市道路交通规划设计规范 GB 50220—95
5. 建筑设计资料集（第二版）有关章节，1994年6月
6. 余庆康编著. 建筑与规划. 北京：中国建筑工业出版社，1995（其中第4章选址和用地）
7. 其他有关建筑防火、抗震、防洪、气象、制图标准等规范
8. 国家规范有关总平面设计部分

二、建筑设计（知识题）

1. 建筑构图有关原理
2. 张文忠主编. 公共建筑设计原理（第二版）. 中国建筑工业出版社
3. 朱昌廉主编. 住宅建筑设计原理. 中国建筑工业出版社
4. 建筑设计资料集（第二版）. 民用建筑设计有关内容. 中国建筑工业出版社
5. 《建筑工程设计文件编制深度的规定》等有关文件
6. 刘敦桢主编. 中国古代建筑史. 中国建筑工业出版社
7. 陈志华著. 外国建筑史（十九世纪以前）. 中国建筑工业出版社
8. 清华大学等编著. 外国近现代建筑史. 中国建筑工业出版社
9. 潘谷西主编. 中国建筑史编写组. 中国建筑史. 中国建筑工业出版社
10. 李德华主编. 城市规划原理（第二版）. 中国建筑工业出版社
11. 夏葵，施燕编著. 生态可持续建筑. 中国建筑工业出版社
12. 林玉莲，胡正凡编著. 环境心理学. 中国建筑工业出版社
13. 各类民用建筑设计标准及规范

三、建筑结构

1. 高等院校教材（供建筑学专业用者）

第一分册：重庆建筑工程学院编. 建筑力学. 理论力学（静力学部分）. 高等教育出版社

第二分册：干光瑜，秦惠民编. 材料力学.（杆件的压缩、拉伸、剪切、扭转和弯曲的基本知识）. 高等教育出版社

第三分册：湖南大学编. 结构力学（静定部分）. 高等教育出版社
建筑抗震设计. 高等教育出版社
黎钟，高云虹编. 钢结构. 高等教育出版社
郭继武编. 建筑地基基础. 高等教育出版社
郭继武编. 混凝土结构与砌体结构. 高等教育出版社

2. 有关规范、标准

建筑结构荷载规范、砌体结构设计规范、木结构设计规范、钢结构设计规范、混凝土结构设计规

范、建筑地基基础设计规范、建筑抗震设计规范、钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程、建筑结构制图标准等规范、标准中属于建筑师应知应会的内容。

四、建筑物理与建筑设备

建筑物理：

1. 刘加平主编．建筑物理（第三版）：高校建筑学与城市规划专业教材．中国建筑工业出版社，2000.
2. 建筑设计资料集（第二版）（8、9、10）．中国建筑工业出版社，1994.
3. 中国建筑科学研究院主编．民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）JGJ 26—95．中国建筑工业出版社
4. 中国建筑科学研究院主编．夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 JGJ 134—2001．中国建筑工业出版社
5. 中国建筑科学研究院主编．民用建筑热工设计规范 GB 50176—93．中国建筑工业出版社
6. 中国建筑科学研究院主编．建筑采光设计标准 GB/T 50033—2001．中国建筑工业出版社
7. 中国建筑科学研究院主编．民用建筑照明设计标准 GBJ 133—90．中国计划出版社
8. 中国建筑科学研究院主编．民用建筑隔声设计规范 GBJ 118—88．中国计划出版社
9. 国家环境保护局监测总站主编．城市区域环境噪声标准 GB 3096—93．国家环保出版社

建筑设备：

1. 建筑给水排水设计手册．中国建筑工业出版社，1992
2. 建筑给水排水设计规范 GBJ 15—88
3. 建筑设计防火规范 GBJ 16—87（2001 年版）
4. 高层民用建筑设计防火规范 GB 50045—95（2001 年版）
5. 自动喷水灭火系统设计规范 GB 50084—2001
6. 采暖通风与空气调节设计规范 GBJ 19—87
7. 民用建筑热工设计规范 GB 50176—93
8. 民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）JGJ 26—95
9. 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 JGJ 134—2001
10. 锅炉房设计规范 GB 50041—92
11. 城镇燃气设计规范 GB 50028—93
12. 陆耀庆主编．实用供热空调设计手册（上下册）（第二版）．中国建筑工业出版社，2008.
13. 林琅编．现代建筑电气技术资质考试复习问答．中国电力出版社，2002.
14. 民用建筑电气设计规范 JGJ/T 16—92
15. 低压配电设计规范 GB 50054—94
16. 10kV 及以下变电所设计规范 GB 50053—94
17. 供配电系统设计规范 GB 50052—95
18. 建筑物防雷设计规范 GB 50057—94（2000 年版）
19. 民用建筑照明设计标准 GBJ 133—90
20. 火灾自动报警系统设计规范 GB 50116—98
21. 建筑与建筑群综合布线系统工程设计规范 GB/T 50311—2000

五、建筑材料与构造

1. 高等院校教材：《建筑材料》、《建筑构造》
2. 王寿华，马芸芳，姚庭舟编．实用建筑材料学．中国建筑工业出版社，1998.
3. 陕西省建筑设计研究院编．建筑材料手册(第四版)．中国建筑工业出版社，2000.
4. 有关规定、规范：

屋面、地面、楼面、防水、装饰、砌体、玻璃幕墙等工程施工及验收规范有关部分

5. 中国新型建筑材料集. 中国建筑工业出版社，1992.

六、建筑经济、施工与设计业务管理

建筑经济：

1. 全国注册建筑师管理委员会编. 一级注册建筑师资格考试手册
2. 全国注册建筑师管理委员会组织编写. 建筑师技术经济与管理读本
3. 建设项目经济评价方法与参数（第2版）. 中国计划出版社
4. 概、预算定额（土建部分）

建筑施工：

1. 砌体工程施工质量验收规范 GB 50203—2002
2. 混凝土结构工程施工质量验收规范 GB 50204—2002
3. 屋面工程质量验收规范 GB 50207—2002
4. 地下防水工程质量验收规范 GB 50208—2002
5. 建筑地面工程施工质量验收规范 GB 50209—2002
6. 建筑装饰装修工程质量验收规范 GB 50210—2001

设计业务管理：

法律：

1. 中华人民共和国建筑法（主席令第91号）
2. 中华人民共和国招标投标法（主席令第21号）
3. 中华人民共和国城市房地产管理法（主席令第29号）
4. 中华人民共和国合同法（主席令第15号），总则第一章至第四章及第十六章（建设工程合同）
5. 中华人民共和国城市规划法（主席令第23号）

行政法规：

6. 中华人民共和国注册建筑师条例（国务院第184号令）
7. 建设工程勘察设计管理条例（国务院第293号令）
8. 建设工程质量管理条例（国务院第279号令）

部门规章：

9. 中华人民共和国注册建筑师条例实施细则（建设部第52号令）
10. 实施工程建设强制性标准监督规定（建设部第81号令）
11. 工程建设若干违法违纪行为处罚办法（建设部第68号令）
12. 建筑工程设计招标投标管理办法（建设部第82号令）

注：全国注册建筑师管理委员会2004年4月21日通知：每年考试所使用的规范、标准，以本考试年度上一年12月31日以前正式实施的规范、标准为准。

现行常用建筑法规、规范、规程、标准一览表（截至2017年底）

序号	编　号	名　称	被代替编号
		法律、法规	
1		中华人民共和国建筑法(2011年7月1日起施行)	
2		中华人民共和国城乡规划法(2008年1月1日起施行)	
3		中华人民共和国安全生产法(2014年12月1日起施行)	

续表

序号	编　　号	名　　称	被代替编号
4		中华人民共和国环境保护法(2015年1月1日起施行)	
5		中华人民共和国注册建筑师条例(1995年9月23日起施行)	
6		中华人民共和国注册建筑师条例实施细则(2008年3月15日起施行)	
7		中华人民共和国招标投标法(2000年1月1日起施行)	
8		中华人民共和国建筑法(2011年修正版，2011年7月1日起实施)	
9		中华人民共和国城市房地产管理法(2007年8月30日第一次修正，2009年8月27日第二次修正)	
10		建设工程勘察设计管理条例(2015年6月12日公布，自公布之日起施行)	
11		建设工程质量管理条例(2000年1月30日起施行)	
12		建筑工程设计文件编制深度规定(2017年1月1日起施行)	2008年版
		总图、规划、道路	
1	GB 50137—2011	城市用地分类与规划建设用地标准	GBJ 137—90
2	GB 50925—2013	城市对外交通规划规范	
3	GB 50220—95	城市道路交通规划设计规范	
4	GB 50289—2016	城市工程管线综合规划规范	GB 50289—98
5	CJJ 83—2016	城乡建设用地竖向规划规范	CJJ 83—99
6	GB/T 51163—2016	城市绿线划定技术规范	
7	GB 50180—93	城市居住区规划设计规范(2016年版)	(2002年版)
8	GB/T 51149—2016	城市停车规划规范	
9	CJJ 37—2012	城市道路工程设计规范(2016年版)	局部修订
10	GB/T 50103—2010	总图制图标准	GB/T 50103—2001
11	CJJ/T 97—2003	城市规划制图标准	
12	GB 50026—2007	工程测量规范	
13	GB 50201—2014	防洪标准	GB 50201—94
14	GB 50805—2012	城市防洪工程设计规范	CJJ 50—1992
15	GB 50413—2007	城市抗震防灾规划标准	
16	GB 51080—2015	城市消防规划规范	
17	CJJ/T 135—2009	透水水泥混凝土路面技术规程	
18	CJJ/T 190—2012	透水沥青路面技术规程	
19	CJJ/T 188—2012	透水砖路面技术规程	
		建　　筑	
1	GB/T 50353—2013	建筑工程建筑面积计算规范	GB/T 50353—2005

续表

序号	编　　号	名　　称	被代替编号
2	GB/T 50104—2010	建筑制图标准	GB/T 50104—2001
3	GB/T 50001—2010	房屋建筑制图统一标准	GB/T 50001—2001
4	GB/T 50002—2013	建筑模数协调标准	GBJ 2—86、 GB/T 50100—2001
5	GB/T 50504—2009	民用建筑设计术语标准	
6	GB 50352—2005	民用建筑设计通则	JGJ 37—1987
7	GB 50763—2012	无障碍设计规范	JGJ 50—2001
8	GB/T 50378—2014	绿色建筑评价标准	GB/T 50378—2006
9	GB 50096—2011	住宅设计规范	GB 50096—99
10	GB 50368—2005	住宅建筑规范	
11	GB/T 50362—2005	住宅性能评定技术标准	
12	GB 50340—2016	老年人居住建筑设计规范	老年人居住建筑设计标准 GB/T 50340—2003 老年人建筑设计规范 JGJ 122—99
13	GB 50867—2013	养老设施建筑设计规范	
14	JGJ 39—2016	托儿所、幼儿园建筑设计规范	JGJ 39—87
15	GB 50099—2011	中小学校设计规范	GBJ 99—86
16	JGJ 67—2006	办公建筑设计规范	JGJ 67—1989
17	JGJ 36—2016	宿舍建筑设计规范	JGJ 36—2005
18	JGJ 62—2014	旅馆建筑设计规范	
19	JGJ 58—2008	电影院建筑设计规范	JGJ 58—1988
20	JGJ 57—2016	剧场建筑设计规范	JGJ 57—2000
21	JGJ 218—2010	展览建筑设计规范	
22	JGJ/T 41—2014	文化馆建筑设计规范	JGJ/T 41—87(试行)
23	JGJ 25—2010	档案馆建筑设计规范	JGJ 25—2000
24	JGJ 38—2015	图书馆建筑设计规范	JGJ 38—99
25	JGJ 66—2015	博物馆建筑设计规范	JGJ 66—91
26	JGJ 48—2014	商店建筑设计规范	JGJ 48—88
27	JGJ 31—2003	体育建筑设计规范	
28	GB 50226—2007	铁路旅客车站建筑设计规范(2011 年版)	GB 50226—95
29	GB 50091—2006	铁路车站及枢纽设计规范	
30	JGJ/T 60—2012	交通客运站建筑设计规范	JGJ 60—99/JGJ 86—92
31	CJJ 14—2005	城市公共厕所设计标准	
32	GB 51039—2014	综合医院建筑设计规范	JGJ 49—88
33	GB 50849—2014	传染病医院建筑设计规范	
34	GB 50333—2013	医院洁净手术部建筑技术规范	GB 50333—2002
35	GB 50038—2005	人民防空地下室设计规范	GB 50038—94
36	JGJ 100—2015	车库建筑设计规范	原《汽车库建筑设计规范》 JGJ 100—98
37	GB 50041—2008	锅炉房设计规范	GB 50041—92

续表

序号	编　　号	名　　称	被代替编号
38	JGJ/T 229—2010	民用建筑绿色设计规范	
39	GB/T 50668—2011	节能建筑评价标准	
40	GB 50037—2013	建筑地面设计规范	GB 50037—96
41	GB/T 50947—2014	建筑日照计算参数标准	
42	GB/T 50033—2013	建筑采光设计标准	GB 50033—2001
43	GB 50118—2010	民用建筑隔声设计规范	GBJ 118—88
44	GB 50121—2005	建筑隔声评价标准	
45	GB/T 50356—2005	剧场、电影院和多用途厅堂建筑声学设计规范	
46	JGJ/T 131—2012	体育场馆声学设计及测量规程	JGJ/T 131—2000
47	GB 50325—2010	民用建筑工程室内环境污染控制规范(2013 年版)	GB 50325—2001
		结　　构	
1	GB/T 50105—2010	建筑结构制图标准	GB/T 50105—2001
2	GB 50068—2001	建筑结构可靠度设计统一标准	GBJ 68—84
3	GB/T 50083—2014	工程结构设计基本术语标准	GB/T 50083—97
4	GB 50223—2008	建筑工程抗震设防分类标准	GB 50223—2004
5	GB 50153—2008	工程结构可靠性设计统一标准	GB 50153—92
6	JGJ/T 97—2011	工程抗震术语标准	JGJ/T 97—95
7	GB 50011—2010	建筑抗震设计规范	局部修订
8	GB 50009—2012	建筑结构荷载规范	GB 50009—2001(2006 年版)
9	GB 50003—2011	砌体结构设计规范	GB 50003—2001
10	GB 50010—2010	混凝土结构设计规范	局部修订
11	JGJ 369—2016	预应力混凝土结构设计规范	
12	JGJ 3—2010	高层建筑混凝土结构技术规程	JGJ 3—2002
13	GB 50005—2003	木结构设计规范(2005 年版)	GBJ 5—88
14	GB/T 51226—2017	多高层木结构建筑技术标准	
15	GB 50017—2003	钢结构设计规范	GBJ 17—88
16	GB 50007—2011	建筑地基基础设计规范	GB 50007—2002
17	JGJ 79—2012	建筑地基处理技术规范	JGJ 79—2002
18	GB 50021—2001	岩土工程勘察规范(2009 年版)	GB 50021—94
19	JGJ 209—2010	轻型钢结构住宅技术规程	
20	JGJ 116—2009	建筑抗震加固技术规程	
21	JGJ 7—2010	空间网格结构技术规程	JGJ 7—91 和 JGJ 61—2003
22	GB 50422—2017	预应力混凝土路面工程技术规范	GB 50422—2007
23	JGJ 339—2015	非结构构件抗震设计规范	
		给排水	
1	GB/T 50106—2010	建筑给水排水制图标准	GB/T 50106—2001
2	GB/T 50125—2010	给水排水工程基本术语标准	
3	GB 50015—2003	建筑给水排水设计规范(2009 年版)	GBJ 15—88
4	GB 50013—2006	室外给水设计规范	GBJ 13—86
5	GB 50014—2006	室外排水设计规范(2014 年版)	GBJ 14—87

续表

序号	编　　号	名　　称	被代替编号
6	GB 50336—2002	建筑中水设计规范	
7	GB 50318—2000	城市排水工程规划规范	
8	CJJ 140—2010	二次供水工程技术规程	
9	GB 50555—2010	民用建筑节水设计标准	
		暖通、空调、燃气	
1	GB/T 50114—2010	暖通空调制图标准	GB/T 50114—2001
2	GB 50736—2012	民用建筑供暖通风与空气调节设计规范	GB 50019—2003
3	JGJ 26—2010	严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准	JGJ 26—95
4	JGJ 75—2012	夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准	JGJ 75—2003
5	JGJ 134—2010	夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准	JGJ 134—2001
6	GB 50176—2016	民用建筑热工设计规范	GB 50176—93
7	GB 50189—2015	公共建筑节能设计标准	
8	JGJ 176—2009	公共建筑节能改造技术规范	
9	JGJ/T 177—2009	公共建筑节能检测标准	
10	JGJ/T 132—2009	居住建筑节能检测标准	JGJ/T 132—2001
11	JGJ/T 129—2012	既有居住建筑节能改造技术规程	JGJ 129—2000
12	CJJ/T 185—2012	城镇供热系统节能技术规范	
13	GB/T 50785—2012	民用建筑室内热湿环境评价标准	
14	GB 50028—2006	城镇燃气设计规范	GB 50028—93
15	GB 50364—2005	民用建筑太阳能热水系统应用技术规范	
16	JGJ 142—2012	辐射供暖供冷技术规程	JGJ 142—2004
		电　　气	
1	GB/T 50786—2012	建筑电气制图标准	
2	JGJ 16—2008	民用建筑电气设计规范	JGJ/T 16—92
3	JGJ 242—2011	住宅建筑电气设计规范	
4	JGJ 310—2013	教育建筑电气设计规范	
5	JGJ 392—2016	商店建筑电气设计规范	
6	GB 50314—2015	智能建筑设计标准	GB/T 50314—2006
7	GB 50311—2016	综合布线系统工程设计规范	GB 50311—2007
8	GB 50057—2010	建筑物防雷设计规范	GB 50057—94
9	GB 50052—2009	供配电系统设计规范	GB 50052—95
10	GB 50034—2013	建筑照明设计标准	GB 50034—2004
11	JGJ/T 119—2008	建筑照明术语标准	JGJ/T 119—98
12	JGJ 203—2010	民用建筑太阳能光伏系统应用技术规范	
		消　　防	
1	GB 50016—2014	建筑设计防火规范	建筑设计防火规范 GB 50016—2006 高层民用建筑设计防火规范 GB 50045—95
2	GB 50067—2014	汽车库、修车库、停车场设计防火规范	GB 50067—97
3	GB 50222—95	建筑内部装修设计防火规范(2001 年版)	

续表

序号	编　　号	名　　称	被代替编号
4	GB 50098—2009	人民防空工程设计防火规范	GB 50098—98
5	GB 50974—2014	消防给水及消火栓系统技术规范	
6	GB 50116—2013	火灾自动报警系统设计规范	GB 50116—98
7	GB 50084—2001	自动喷水灭火系统设计规范(2005年版)	GBJ 84—85
		施　　工	
1	GB/T 50841—2013	建设工程分类标准	
2	GB/T 50375—2016	建筑工程施工质量评价标准	GB/T 50375—2006
3	GB/T 50502—2009	建筑施工组织设计规范	
4	GB 50345—2012	屋面工程技术规范	GB 50345—2004
5	GB 50207—2012	屋面工程质量验收规范	GB 50207—2002
6	GB 50693—2011	坡屋面工程技术规范	
7	JGJ 155—2013	种植屋面工程技术规程	JGJ 155—2007
8	JGJ 230—2010	倒置式屋面工程技术规程	
9	JGJ 255—2012	采光顶与金属屋面技术规程	
10	GB 50204—2015	混凝土结构工程施工质量验收规范	GB 50204—2002(2011年版)
11	JGJ/T 17—2008	蒸压加气混凝土建筑应用技术规程	
12	JGJ/T 14—2011	混凝土小型空心砌块建筑技术规程	JGJ/T 14—2004
13	JGJ 126—2015	外墙饰面砖工程施工及验收规程	
14	JGJ/T 220—2010	抹灰砂浆技术规程	
15	JGJ/T 235—2011	建筑外墙防水工程技术规程	
16	JGJ 144—2004	外墙外保温工程技术规程	
17	JG/T 372—2012	建筑变形缝装置	
18	GB 51004—2015	建筑地基基础工程施工规范	
19	GB 50202—2016	建筑地基基础工程施工质量验收规范	GB 50202—2002
20	GB 50108—2008	地下工程防水技术规范	GB 50108—2001
21	GB 50209—2010	建筑地面工程施工质量验收规范	GB 50209—2002
22	GB 50330—2013	建筑边坡工程技术规范	GB 50330—2002
23	JGJ 120—2012	建筑基坑支护技术规程	JGJ 120—99
24	JGJ/T 104—2011	建筑工程冬期施工规程	JGJ/T 104—97
25	GB 50156—2012	汽车加油加气站设计与施工规范	GB 50156—2002
		材　　料	
1	GB 6566—2010	建筑材料放射性核素限量	GB 6566—2001
2	GB 18580—2001	室内装饰装修材料 人造板及其制品中甲醛释放限量	
3	GB/T 7106—2008	建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法	GB/T 7106—2002、GB/T 7107—2002、GB/T 7108—2002、GB/T 13685—1992、GB/T 13686—1992
4	GB/T 8484—2008	建筑外门窗保温性能分级及检测方法	GB/T 8484—2002、GB/T 16729—1997

续表

序号	编　　号	名　　称	被代替编号
5	GB/T 8485—2008	建筑门窗空气声隔声性能分级及检测方法	GB/T 8485—2002、GB/T 16730—1997
6	JGJ 214—2010	铝合金门窗工程技术规范	
7	JGJ 103—2008	塑料门窗工程技术规程	JGJ 103—96
8	GB 12955—2008	防火门	GB 12955—1991、GB 14101—1993
9	GB 16809—2008	防火门	GB 16809—1997
10	JGJ 113—2015	建筑玻璃应用技术规程	JGJ 113—2009
11	JGJ/T 29—2015	建筑涂饰工程施工及验收规程	JGJ/T 29—2003
12	JG 138—2010	建筑玻璃点支承装置	JG 138—2001
13	GB/T 17748—2016	建筑幕墙用铝塑复合板	GB/T 17748—2008
14	GB 16776—2005	建筑用硅酮结构密封胶	GB 16776—1997
15	JGJ/T 191—2009	建筑材料术语标准	
		装　　修	
1	JGJ 367—2015	住宅室内装饰装修设计规范	
2	JGJ 345—2014	公共建筑吊顶工程技术规程	
3	JGJ 133—2001	金属与石材幕墙工程技术规范	
4	JGJ 102—2003	玻璃幕墙工程技术规范	JGJ 102—96
5	JGJ 298—2013	住宅室内防水工程技术规范	
6	JGJ/T 157—2014	建筑轻质条板隔墙技术规程	JGJ/T 157—2008
7	JGJ/T 175—2009	自流平地面工程技术规程	
8	JGJ 237—2011	建筑遮阳工程技术规范	
9	GB 50327—2001	住宅装饰装修工程施工规范	
10	GB 50210—2001	建筑装饰装修工程质量验收规范	
11	JGJ/T 29—2015	建筑涂饰工程施工及验收规程	JGJ/T 29—2003
12	GB 50325—2010	民用建筑工程室内环境污染控制规范(2013年版)	GB 50325—2001
		园　　林	
1	GB 50420—2007	城市绿地设计规范	局部修订
2	GB 51192—2016	公园设计规范	CJJ 48—92
3	CJJ 267—2017	动物园设计规范	
		其　　他	
1	GB/T 50319—2013	建设工程监理规范	GB/T 50319—2000
2	GB 50500—2013	建设工程工程量清单计价规范	GB 50500—2008
3	GB/T 51095—2015	建设工程造价咨询规范	
4	CJJ 47—2006	生活垃圾转运站技术规范	

附录3　2017年度全国一、二级注册建筑师资格考试考生注意事项

一、报考

考生应按考务文件的规定报名参加考试，严禁在专业、学历、工作经验及职业实践等方面弄虚作假，骗取报考资格。对弄虚作假骗取考试资格的，依据《专业技术人员资格考试违纪违规行为处理规定》处理。

二、职业实践要求

根据《关于〈一级注册建筑师职业实践登记手册〉有关事项的通知》（注建秘〔2015〕4号），全国注册建筑师管理委员会不再统一印制《一级注册建筑师职业实践登记手册》，报考人员可在住房和城乡建设部执业资格注册中心网站（www.pqrc.org.cn）上下载《一级注册建筑师职业实践登记手册》标准格式的电子文档，打印后按照职业实践内容填写，已经持有的《一级注册建筑师职业实践登记手册》可继续使用。

三、考试大纲及成绩有效期

2017年度全国一、二级注册建筑师资格考试大纲、科目及成绩有效期等保持不变，暂停考试的年份（2015年和2016年）不计入成绩有效期。

四、考试时间

2017年度全国一级注册建筑师资格考试时间在5月的2个连续的周末进行，请注意考试时间及科目安排，以免耽误考试。

五、参加知识题考试

1. 考生应携带2B铅笔、橡皮、无声及无文本编辑功能的计算器参加考试。

2. 在答题前，考生必须认真阅读印于试卷封二的“应试人员注意事项”，必须将工作单位、姓名、准考证号如实填写在试卷规定的栏目内，将姓名和准考证号填写并填涂在答题卡相应的栏目内。在其他位置书写单位、姓名、准考证号等信息的按违纪违规行为处理。

3. 按题号在答题卡上将所选选项对应的信息点用2B铅笔涂黑。如有改动，必须用橡皮擦净痕迹，以防电脑阅卷时误读。

六、参加作图题考试

1. 考生于考试前30分钟进入考场做准备。

2. 考生应携带以下工具和文具参加作图题考试：图板、无声及无文本编辑功能的计算器，三角板一套，圆规，丁字尺，比例尺，建筑模板，绘图笔一套，铅笔，橡皮，订书机，刮图刀片，胶带纸等。不得携带草图纸、涂改液、涂改带等。参加一级注册建筑师“建筑技术设计”和“场地设计”科目考试的考生还应携带2B铅笔。

3. 正式答题前，考生必须认真阅读本作图题考试科目的“应试人员注意事项”，将姓名、准考证号如实填写在试卷封面规定的栏目内，姓名、准考证号应用正体书写，清晰并易于辨识。参加“建筑技术设计”和“场地设计”科目考试的考生，还须将姓名和准考证号填写并填涂在答题卡相应的栏目内。

4. 作图题必须按规定的比例用黑色绘图笔绘制在试卷上。所有线条应光洁、清晰，不易擦去。各科目里若有允许徒手绘制的线条，其有关说明见相应作图题科目“应试人员注意事项”中的规定。

5. 考生可将试卷拆开以便作答，作答完毕后由考生本人将全部试卷按照页码编号顺序用订书机重新

装订成册，订书钉应订在封面指定位置。

6. “建筑技术设计”和“场地设计”两个作图题考试科目试卷上有选择题，考生按下列三个步骤完成作答：(1) 作图；(2) 根据作图完成选择题作答，并将所选选项用黑色墨水笔填写在括号内；(3) 根据选择题作答结果填涂答题卡，按题号在答题卡上将所选选项对应的信息点用 2B 铅笔涂黑。漏做其中任一步骤均视为无效卷，不予评分。所选选项必须写在括号内，不写、写在括号外或用“√”、“×”等符号表示的，人工复评时不予认可，不予评分。选择题只能选择一个正确答案，且试卷上选择题所选答案必须与答题卡所填涂答案一致。

7. 作图题试卷有下列情形之一，造成无法评分的，后果由个人负责：

(1) 姓名和准考证号填写错误的；

(2) 试卷缺页的；

(3) “建筑技术设计”或“场地设计”科目作图选择题与答题卡选项不一致的；

(4) “建筑技术设计”或“场地设计”科目的作图选择题、答题卡作答空缺的；

(5) “建筑技术设计”或“场地设计”科目试卷上的作图选择题未按规定填写答案的。

8. 特别提请注意，作图题试卷有下列情况之一的，按违纪违规行为处理：

(1) 用彩色笔、铅笔、非制图用圆珠笔及泛蓝色钢笔等非黑色绘图笔制图的；

(2) 将草图纸夹带或粘贴在试卷上的；

(3) 在试卷指定位置以外书写姓名、准考证号，或在试卷上做与答题无关标记的；

(4) 使用涂改液或涂改带修改图纸的。

附录 4　解读《2017 年考生注意事项》

郭保宁

由于工作关系，笔者自 1992 年陪同叶如棠部长考察美国注册建筑师制度及编写注册建筑师条例以来，绝大部分时光都在从事注册建筑师考试的组织工作直至退休。在工作中发现考生因备考不充分、缺少具有针对性的应试技巧、对题目作答要求不够重视等非技术因素造成考试成绩不理想的情况时有发生。每年布置考试考务工作的文件均附有《××××年度全国一、二级注册建筑师资格考试考生注意事项》，本文旨在结合本人所了解的情况和个人理解对《考生注意事项》做逐条解读，以便广大考生更有针对性地做好备考工作。

一、报考

考生参加考试，考务机构需要按规定的报考条件确认考生是否具备考试资格，骗取考试资格的行为一经发现，需按上述规定对考生做出停考处理。所以，希望考生做到如实申报，在个人执业生涯中不留任何不良记录。

二、职业实践要求

完成手册所要求的实践科目和学时，是考生必备的报考条件之一。

三、考试大纲及成绩有效期

在国务院清理规范各类职业资格期间，一、二级注册建筑师在 2015 年和 2016 年暂停了考试。恢复考试后，为消除考生的疑虑，需要重申没有改变考试规则，且 8 年成绩有效期的年份计算中不包括 2015 年和 2016 年两个年份。

四、考试时间

2014 年及以前的一级注册建筑师考试时间均在周六至周二连续四天中借用学校教室进行。由于近年来对学校教育的重视，一些地方无法做到周一、周二停课，因此考试时间做了相应变动。这也从客观上缓解了考生连续四天考试的压力。

五、参加知识题考试

一级注册建筑师资格考试中有 6 个考试科目为知识题，它们是：“设计前期与场地设计”、“建筑设计”、“建筑结构”、“建筑物理与建筑设备”、“建筑材料与构造”、“建筑经济、施工与设计业务管理”；二级注册建筑师资格考试中有 2 个考试科目为知识题，它们是：“建筑结构与设备”和“法律、法规、经济与施工”。知识题考题的题型全部为单项选择题，每一个选择题都有一个提出问题的题干，题干由疑问句或不完全陈述句构成，后附 4 个选项供选择，其中只有 1 个为正确选项，考生对这种标准化的考试方式应当不陌生。

1. 2B 铅笔用于填涂答题卡，建议在正规商店购买 2B 铅笔，以确保用笔质量。“无声及无文本编辑功能”是人力资源与社会保障部人事考试中心对各类资格考试用计算器的统一要求。

2. 考试前，监考人员会提前下发试卷并留出充足的时间让考生阅读“应试人员注意事项”，并在试卷及答题卡上填写单位、姓名、准考证号等信息。考生一定要认真完成，切不可为多争取几分钟的时间而过早开始审题答题。实际考试工作中，有些案例就是因为考生违反“应试人员注意事项”或填写、填涂错误造成的。在其他位置书写单位、姓名、准考证号等信息的按违纪违规行为处理。

六、参加作图题考试

注册建筑师考试作图题分为两类。一类为作图选择题，既要求作图，又要求在试卷和答题卡上填写或填涂选择题选项；它们是：一级注册建筑师的“建筑技术设计”和“场地设计”考试科目。另一类为单纯作图题，只需要完成作图即可；考试科目为一级注册建筑师的“建筑方案设计”和二级注册建筑师的“场地与建筑设计”、“建筑构造与详图”。作图题主要是考察考生的方案构思能力、工程实践能力和表达能力，这是建筑师的看家本事，也是众多考生通过九科考试前的扫尾科目，这就更需要考生事先了解作图题的考试方式和作答要求。

1. 希望考生尽早进人考场，提前做好布置图板、准备绘图用具等工作。

2. 多准备一些工具和文具可以做到有备无患，其中有的无数量与规格要求，如各类建筑模板建议多带，以备可能出现的多种用场。绘图笔（黑色墨水），建议带常用规格、不同粗细的不少于 3 支，2B 铅笔专用于填涂答题卡。考场上将为每位考生统一配发草图纸。用涂改液或涂改带修改图纸者，其试卷按违规卷处理，不予评分。

3. 正式答题前，切记认真阅读本作图题考试科目的“应试人员注意事项”！每年都有因未按要求作答而影响考试成绩者出现。2003 年以来，一级注册建筑师资格考试中的“建筑技术设计”和“场地设计”两门作图题考试结束后，均先由电脑对考生的答题卡进行读卡评分，根据考生的读卡成绩决定其考卷能否进入下一步——人工复评。所以，这两门作图题考试均配有答题卡，考生要在答题卡相应的栏目内填写姓名和填涂准考证号；建议考生仔细填写、填涂，并核对这部分内容。

4. 试卷的“应试人员注意事项”中有可能对徒手绘制线条的范围做出规定，这主要是为了便于考生提高制图速度。但有两点需要注意：1. 画长线条时，再好的徒手功夫也没有在尺上画得快；2. 画建筑单元模块时，用模板要比徒手画图快。至于借助工具还是徒手绘图，关键是看哪个速度更快。

5. 考生可将试卷拆开以便作答，拆开试卷的考生要注意保管好自己的每一页试卷，往年考试中曾发生过被抄袭及破损的情况。作答完毕后，考生本人应将全部试卷按照页码编号顺序用订书机重新装订成册。试卷装订漏页有可能会被带离考场，按违纪违规行为处理。提请拆开试卷作答的考生注意，考试完毕装订试卷时切记要仔细核对试卷的页码顺序，以防发生漏页的情况，引起不必要的麻烦。同时要核对试卷封面上的个人信息，以免张冠李戴；之后再装订成册。订书钉应订在封面指定位置。在封面左侧装订线处指定了 4 个装订位置，考生应将其订满，以确保试卷在运输和阅卷期间不会开散。

6. 考生在完成每道题的作图任务后，切记要同时在试卷选择题和答题卡上作答。如漏做了后者，在电脑读答题卡时，有可能因分数未达到合格线而不能调卷参加全国统一组织的人工复评；如漏做了前者，即使有可能调卷参加人工复评，也会因试卷上无选择题答案，无法进行人工复核而被视为无效试卷。所以在此强调两部分都要作答的重要性；不管忽略哪一项，都有可能失去考试通过的机会。试卷上的选择题为填空作答，要求用黑色墨水笔将所选答案选项（A、B、C、D 四者之一）填写进选择题给定位置的括号中。在填涂答题卡时，仍须用 2B 铅笔涂黑所选选项的信息点；如有改动，必须用橡皮擦净痕迹，以防电脑阅卷时误读。

7. 作图题考试的要求比知识题要复杂，《考生注意事项》将参加作图题考试中无法评分和违纪违规的情况集中列于此处，目的是让考生能清晰地了解此部分要求，从而杜绝此类错误、违规行为的发生。

七、提请考生注意

1. 合理分配考试时间

对于知识题，可参照下表各科目每题平均作答所用时间，以此掌握答题速度并注意留出检查的时间，这样便于从容作答及整体把握答题进度。

级别	一级						二级	
科目	设计前期与场地设计	建筑设计	建筑结构	建筑物理与建筑设备	建筑材料与构造	建筑经济、施工与设计业务管理	建筑结构与设备	法律、法规、经济与施工
题量	90	140	120	100	100	85	100	100
考试时间（时）	2.0	3.5	4.0	2.5	2.5	2.0	3.5	3.0
每题平均用时（分）	1.33	1.50	2.00	1.50	1.50	1.41	2.10	1.80

对于一级注册建筑师“建筑技术设计”、“场地设计”和二级注册建筑师“建筑构造与详图”这类每一门考试科目中有几道作图题的考试来说，建议考生拿到试卷后先通览一遍考题，先挑相对简单和自己熟悉的题来做，以防被相对复杂和自己不熟悉的题占用过多时间，从而影响自己整体水平的发挥。另外，笔者要再次强调，一级注册建筑师“建筑技术设计”和“场地设计”两门作图题考试都有选择题，考试结束后先要由电脑对考生的答题卡进行读卡评分，根据读卡成绩淘汰掉分数未达到合格线的试卷，未淘汰的才能被调卷进行人工复评；考生要充分认识到填涂答题卡的重要性。另外，别忘记在试卷上的选择题中选择答案，否则也会因为试卷上无选择题答案而无法进行人工复核。因此，考生一定要安排出适当的时间做选择题和填涂答题卡。此前每年都出现过考生的读卡成绩较高，作图也不错，但试卷上的选择题未做，因而人工复评时无法对其进行复核，最终考试未能通过的情况。

对于一级注册建筑师“建筑方案设计”作图题和二级注册建筑师“场地与建筑设计”里的第二题“建筑设计”作图题，考生要根据个人的具体情况大致划分方案构思与制图表达两个阶段的时间分配量，在人工评卷中，每年都可以发现既有方案构思不错而制图表达未完成的，又有制图表达完整但方案有明显缺陷的，只有把握好两阶段的时间分配量，才能保证个人整体水平的充分发挥。

2. 方案作图题的作答方法

方案作图题特指一级注册建筑师“建筑方案设计”作图题和二级注册建筑师“场地与建筑设计”里的第二题“建筑设计”作图题，这类试题基本相当于大学的快速设计，但比快速设计更加注重方案构思和工程实践能力，而淡化一些其他内容（如无立面设计等）。完成这类考试建议分四步：（1）完全读懂题目要求，分析并明确作图任务；（2）根据任务描述、功能关系图等已知条件，结合上述分析，在草图纸上勾画草图；（3）确定结构柱网尺寸、面积等定量因素，同时对照题目要求调整、完善平面布局、功能关系及各部分面积；（4）在试卷上正式制图。提醒考生制图时要像画素描一样注意整体把握制图深度的一致性。笔者见过这样的答卷，一层平面图中的作图细致到结构部分全部涂黑，卫生间能表现的内容也都画了出来，但二层平面却是空白！因建筑一、二层有很多相互关联的功能关系，一层画得再好有时也无法单独给分。像这样的情况实属可惜。另外，应避免对细部、局部花过多时间和片面追求图面质量，而要把主要精力用于平面及功能关系等总体方案的构思和设计上。

3. 充分做好考前非技术因素的准备工作

考生在备考时除了全面、系统地梳理各科目专业知识外，建议用一些时间做好考前非技术因素的准备工作。笔者认为有以下几点应引起重视：（1）考试前认真阅读当年的《全国一、二级注册建筑师资格考试考生注意事项》。每年的《考生注意事项》与往年相比都会多多少少有一些变动；尤其近年来，在考试要求上可能会有一些新的内容，提请考生密切关注、高度重视。如未能在报考部门得到《考生注意事项》，考生可在住房和城乡建设部执业资格注册中心网站（www.pqrc.org.cn）上查找当年的考试考务

通知。参加各科目考试在正式答题前，一定要认真阅读试卷上的“应试人员注意事项”。（2）通过阅读《全国一、二级注册建筑师资格考试考生注意事项》、考前培训和与其他考生交流，掌握好各考试科目的个人信息填写、填涂要求和作答要求。（3）登录相关网站（如 ABBS 建筑论坛等），在不违反考试规则的前提下借鉴其他考生的考试经验。（4）参加考试时所携带的工具和文具应尽量齐全，但注意不要发生规定所禁止的行为，如用涂改液、涂改带修改作图题的线条等。此外还需注意，如个别地方的考场未给考生准备图板，考生要自己准备 2 号图板参加作图题考试。（5）由于我国建筑设计行业率先实现了计算机辅助设计，近十几年毕业的考生几乎没有在图板上做设计、绘图的经历，建议考前多做一些手工制图的练习，以确保作图速度和质量。

本文仅以个人观点为考生提出一些建议，如与相关规定或要求不符，应以相关规定或要求为准。最后预祝考生在考试中取得好成绩！

2017 年 9 月

附录 5　对知识单选题考试备考和应试的建议

一级注册建筑师的 9 门考试中有 6 门是知识单选题考试。二级注册建筑师的 4 门考试中有 2 门是知识单选题考试。从 2011 年起，一级《建筑设计》、《建筑结构》、《建筑物理与建筑设备》和《建筑材料与构造》4 科知识单选题考试在考试时间不变的条件下，每科的试题数均较 2010 年的试题数减少了 20 道题，减轻了考生的负担。其他 2 科和二级的 2 科试题数没有变化。这些知识单选题的试题数、考试时间和及格标准见下表。

分　　级	考　试　科　目	考试时间（小时）	考试题数	试卷满分	及格标准
一　　级	设计前期与场地设计	2.0	90	90	54
	建筑设计	3.5	140	140	84
	建筑结构	4.0	120	120	72
	建筑物理与建筑设备	2.5	100	100	60
	建筑材料与构造	2.5	100	100	60
	建筑经济、施工与设计业务管理	2.0	85	85	51
二　　级	建筑结构与设备	3.5	100	100	60
	法律、法规、经济与施工	3.0	100	100	60

从表中可看出及格线都是 60%。对历年试题的分析可以看出，有 50%～60%的试题属于常规知识范围，也就是建筑师应知应会的知识；约 30%～35%的题比较难，一般建筑师可能做不出来；还有约 10%～15%的题可以说是偏题、怪题，几乎可以说，一般考生根本做不出来，就是老师也要多方查资料才能找到结果。也就是说，要想考出 80 分或 90 分的成绩几乎不可能。因此建议考生备考一定要重点明确，主要复习建筑师应知应会的知识，切忌去钻那些偏题、怪题。考生争取 60 分通过就行了，不必去追求高分，也没有必要。

在应试拿到考题时，建议考生不要顺着试题顺序往下做。因为有的题会比较难，有的题会比较生僻，耽误的时间比较多，以致到最后时间不够，致使会做的题却来不及做，这就得不偿失了。建议考生将做题过程分如下三步走：

首先用 10～20 分钟（根据考题的多少）将题从头到尾看一遍，一是首先解答出自己很熟悉很有把握的题；二是将那些需要稍加思考估计能在平均答题时间里做出的题做个记号。这里说的平均答题时间见下表，就是根据每科考试时间和题数计算出的平均答题时间。从表中可以看出，一级除《建筑结构》平均每题为 2 分钟外，其他 5 科平均答题时间均在 1 分 20 秒至 1 分 30 秒之间。二级 2 科平均每题答题时间在 2 分钟上下。将估计在这个时间里能做出来的题做个记号。

分　级	考　试　科　目	考试时间（小时）	考试题数	每题时间（分、秒）
一　级	设计前期与场地设计	2.0	90	1分20秒
	建筑设计	3.5	140	1分30秒
	建筑结构	4.0	120	2分
	建筑物理与建筑设备	2.5	100	1分30秒
	建筑材料与构造	2.5	100	1分30秒
	建筑经济、施工与设计业务管理	2.0	85	1分24.7秒
二　级	建筑结构与设备	3.5	100	2分06秒
	法律、法规、经济与施工	3.0	100	1分48秒

第二遍就做这些做了记号的题，这些题应该在考试时间里能做完。做完了这些题可以说就考出了考生的基本水平，不管考生的基础如何，复习得怎么样，临场发挥得如何，至少不会因为题没做完而遗憾了。对这些应知应会的题准备考试时一定要认真复习，考试时争取要都能做出来，这是考试及格的基础。

这些会做的题或基本会做的题做完以后，如果还有时间，就做那些需要花费时间较多的题。对这些比较难的题没有把握不要紧，有的可以采用排除法，把肯定不对的答案先排除掉，剩下的再猜答，能做几个算几个。并适当抽时间检查一下已答题的答案。

在考试将近结束时，比如说还剩5分钟要收卷了，你就要看看还有多少道题没有答，这些题确实不会了，也不要放弃。在单选题考试中，对不会的题估填了答案对了也是有分的。建议考生回头看看已答题的答案A、B、C、D各有多少，虽然整个卷子四种答案的数量不一定是平均的，但还是可以这样来考虑。看看已答的题中A、B、C、D哪个最少，然后将不会做、没有答的题按这个前边最少的选项通填，这样其中会有1/4甚至还会多于1/4的题能得分。你如果应知应会的题得了五十多分，再加上这些通填的题得了十几分，加起来就及格了。

以上建议供各位考生参考。

预祝大家顺利通过考试！

主编　曹纬浚

2016年10月